

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

На правах рукописи



Тиганова Ирина Александровна

**БЛАГОУСТРОЙСТВО ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ С УЧЁТОМ
ВОДНОГО БАЛАНСА ТЕХНОГЕННОГО ЛАНДШАФТА
(на примере г. Екатеринбурга)**

05.23.22 – Градостроительство, планировка сельских
населенных пунктов

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук
Шауфлер Виктор Гугович

Екатеринбург – 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ВЛАЖНОСТНЫЙ РЕЖИМ ГОРОДСКИХ ЛАНДШАФТОВ	11
1.1. Характеристика техногенного ландшафта на основе водного баланса. Переувлажнение и иссушение территорий	11
1.2. Западноевропейский опыт поддержания благоприятного микроклимата в жилой застройке и организации поверхностного стока.....	16
1.3. Организация поверхностного стока с учётом водного баланса техногенного ландшафта в России	22
1.4. Существующий опыт задержания поверхностных и грунтовых вод в техногенном ландшафте	33
1.4.1. Отечественный опыт	33
1.4.2. Западноевропейская практика	35
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1.....	42
ГЛАВА 2. МОДЕЛЬ ВОДОБАЛАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНОГЕННОГО ЛАНДШАФТА	43
2.1. Типология методов инженерного благоустройства	43
2.2. Математическое описание водобалансового состояния техногенного ландшафта	46
2.3. Индекс водного баланса ландшафта	60
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2.....	64
ГЛАВА 3. ТЕХНОГЕННОЕ ВЛИЯНИЕ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ЗАСТРОЙКИ НА ВОДНЫЙ БАЛАНС ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА.....	66
3.1. Техногенные составляющие водного баланса территорий	66
3.2. Типология массовой жилой застройки г. Екатеринбурга	67
3.3. Фактор нарушения естественного поверхностного стока с территории.....	75
3.3.1. Степень изученности вопроса	75
3.3.2. Поверхностный сток с территории. Уточнение расчетных значений на основе баланса покрытий	84

3.3.3. Коэффициент бессточных участков техногенных ландшафтов	89
3.3.4. Определение усредненного коэффициента поверхностного стока в зависимости от типа застройки.....	96
3.4. Техногенное влияние на водный баланс застроенного ландшафта.....	99
3.4.1. Обзор существующего состояния и изученности вопроса.....	99
3.4.2. Определение объёма утечек из водонесущих сетей в зависимости от типа застройки	102
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3.....	107
ГЛАВА 4. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЛАГОУСТРОЙСТВА ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ С УЧЁТОМ ВОДНОГО БАЛАНСА ТЕХНОГЕННОГО ЛАНДШАФТА	109
4.1. Методическая последовательность оценки и прогноза изменений водного баланса ландшафта в процессе застройки территории	109
4.2. Моделирование состояния водного баланса застроенного ландшафта	112
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 4.....	125
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	126
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	130
Приложение А	142
Приложение Б	145
Приложение В	155
Приложение Г	161

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

В результате градостроительной деятельности человека происходит превращение природного ландшафта в техногенную городскую среду. Покрытая асфальтом и плотно застроенная городская территория провоцирует быструю разгрузку поверхностного стока в реки, что приводит как к паводковым затоплениям и подтоплениям территорий, с одной стороны, так и к иссушению ландшафтов и перегреву городской среды, с другой. Последнее явление известно в мировом градостроительстве как «Urban heat island effect». Проблема сохранения естественного водного баланса решается путём создания в жилой среде специальных задерживающих дождевую воду компенсационных мероприятий. Это могут быть аккумулирующие дождевую воду пруды, инфильтрующие траншеи, котловины в зелёных зонах, дренажи обратного действия и пр. Однако эти мероприятия больше известны в зарубежной градостроительной практике, нежели российской. Природа происхождения и методы борьбы с затоплением и подтоплением в настоящее время достаточно хорошо изучены. Разработка же компенсационных мероприятий, направленных на сохранение или восстановление естественного водного баланса техногенного ландшафта и, как следствие, формирование комфортного для проживания человека микроклимата, – задача в российской действительности пока еще мало исследованная.

При проектировании выше обозначенных компенсационных мероприятий в условиях России, где большая часть городских территорий представлена застройкой советского и постсоветского времени, возникает вопрос влияния сложившегося техногенного окружения на существующий ландшафт. Данная диссертационная работа посвящена вопросу разработки научных основ для проектирования экологически оправданного инженерного благоустройства городских территорий, включающего в себя компенсационные мероприятия и поддержание в жилой среде комфортного микроклимата с сохранением водного баланса техногенного ландшафта, близкого к естественному.

Степень разработанности темы

Базой для исследования инженерного благоустройства на основе учёта водного баланса техногенного ландшафта стали принципы, заложенные российскими учёными в области градостроительства, реконструкции городских территорий и инженерного благоустройства и изложенные в работах: В.А. Бутягина, В.В. Владимирова, Д.Н. Власова, В.Ф. Касьянова, В.А. Колясникова, С.М. Лыжина, С.В. Максимовой, Г.А. Малояна, В.А. Осина, С.И. Санка, В.К. Степанова, О.С. Расторгуева, М.С. Шумилова, Е.В. Щербины и др., в области инженерной подготовки городских территорий, городской экологии, устойчивого развития городов и озеленения территорий, изложенные в работах: А.А. Беляева, В.А. Блинова, А.Г. Большакова, В.Л. Глазычева, В.А. Горохова, Р.А. Данцига, М.Н. Диваковой, Н.А. Керимовой, Г.И. Клиориной, Э.Э. Красильниковой, Н.С. Краснощековой, И.В. Лазаревой, Л.Б. Лунца, В.Ю. Моисеева, В.А. Нефёдова, Л.Н. Орловой, А.Н. Попова, Л.Н. Смирнова, С.Б. Чистяковой, В.Л. Шафрана, В.Г. Шауфлера, И.С. Шукурова и др., в области инженерной защиты территорий от подтопления, изложенные в работах: С.К. Абрамова, Д.П. Гордиенко, Б.М. Дегтярева, И.А. Кветной, А.Ж. Муфтахова, Д.П. Самофалова, В.И. Сологаева, С.В. Сольского и др.

На основе анализа литературных источников и нормативной базы сделан вывод об относительно слабой изученности вопроса экологических принципов проектирования инженерного благоустройства в условиях России. Менее всего изучены вопросы влияния сложившейся застройки советского и постсоветского времени на водно-тепловые характеристики жилой среды и техногенных ландшафтов. Имеющаяся нормативная база также не направлена на регулирование объёма поверхностного стока и не предусматривает активное использование альтернативных систем поверхностного водоотвода. Отсутствуют нормативные документы, предусматривающие разработку компенсационных мероприятий в части поверхностного стока. В связи с чем обосновывается актуальность и практическая значимость настоящего исследования.

Целью исследования является прогноз и поддержание естественного водного баланса городской среды с учётом интенсивности градостроительного использования территорий и влияния сложившегося техногенного окружения с последующей разработкой методики проектирования инженерного благоустройства, учитывающей водобалансовое состояние ландшафта и используемой при планировке территории.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

- изучение существующего состояния инженерного благоустройства и практики учёта водного баланса городских территорий в России и западных странах;
- классификация инженерного благоустройства жилых территорий по критерию водного баланса техногенного ландшафта;
- разработка логико-математической модели состояния водного баланса городской территории, учитывающая влияние и взаимосвязь природных и техногенных факторов;
- исследование техногенного влияния на водный баланс территории города в зависимости от выделенных морфотипов застройки, определение качественных и количественных характеристик этого влияния;
- разработка методики анализа водобалансового состояния инженерного благоустройства городских территорий, применимой при разработке документации по планировке территории;
- моделирование состояний водного баланса техногенного ландшафта для выделенных морфотипов существующей застройки г. Екатеринбурга по грунтовым условиям.

Объект исследования

Инженерное благоустройство исторически сложившейся жилой застройки миллионного мегаполиса – г. Екатеринбурга.

Предмет исследования

Водный баланс техногенного ландшафта.

Научная новизна результатов исследования заключается в том, что:

- разработана градостроительная типология методов инженерного благоустройства селитебных территорий по критерию их влияния на водный баланс техногенного ландшафта;
- предложен новый показатель – «индекс водного баланса ландшафта», учитывающий как природные, так и техногенные факторы водного баланса среды и позволяющий оценить необходимость применения компенсационных мероприятий в инженерном благоустройстве, а также их объём;
- разработана логико-математическая модель состояния водного баланса городской территории, учитывающая влияние и взаимосвязь природных и техногенных факторов;
- выявлены факторы, характеризующие техногенное влияние исторически сложившейся городской среды на водный баланс техногенного ландшафта, определены величины этих факторов в зависимости от выделенных морфотипов жилой застройки г. Екатеринбурга;
- разработана методика анализа и прогноза изменений водного баланса инженерного благоустройства территорий города, позволяющая принять решение о характере и объёме мероприятий, компенсирующих нарушения водного баланса техногенного ландшафта.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в том, что предложенные теоретические положения, установленные зависимости и расчётные методики позволяют муниципальным органам по благоустройству, министерствам и ведомствам, контролирующим и регулирующим строительную экологическую деятельность на территории городов, а также проектным организациям оценивать и проектировать инженерное благоустройство, предусматривающее компенсирующие мероприятия с целью создания комфортного микроклимата жилой городской среды.

В диссертации исследованы закономерности развития и даны предложения по совершенствованию основ градостроительной и планировочной деятельности в сфере экологически обоснованного благоустройства городских территорий.

Значение разработки и решение обозначенной научной проблемы заключается в улучшении функциональных, социальных, гигиенических и эстетических параметров среды обитания и жизнедеятельности людей.

Разработаны методы оценки изменений водного баланса с последующей выдачей рекомендаций по устройству компенсационных мероприятий, полностью или частично восстанавливающих исходный (природный) водный баланс на городской территории и пригодных для применения в зависимости от типа проектируемого инженерного благоустройства.

Методология и методы диссертационного исследования

Методологической и методической базой исследования являются фундаментальные положения градостроительства, архитектуры и экологии городской среды в области инженерного благоустройства застраиваемых и реконструируемых городских территорий. Исследования проводились с применением методологии системного подхода к научной проблеме сохранения водного баланса методами инженерного благоустройства, теории экологии городской среды, предметно-логического и сравнительного анализа, методов математической обработки статистических данных и экспертных оценок. В работе использовались данные натурных обследований жилой застройки г. Екатеринбурга, специально собранные и обработанные автором для целей диссертационного исследования.

Методы исследования: изучение специальной литературы и архивных материалов; аналитический метод; экспертные опросы; метод картографического анализа; натурные обследования; метод измерений; статистическая обработка материалов натурных обследований; моделирование состояний водного баланса городской территории.

Положения, выносимые на защиту:

- типология методов инженерного благоустройства территорий, учитывающая состояние водного баланса техногенного ландшафта;
- методика оценки влияния техногенной среды на естественный водный баланс территории с помощью предложенного в работе показателя «индекс вод-

ного баланса ландшафта», определяющего тип инженерного благоустройства, а также характер и объём компенсационных мероприятий;

- логико-математическая модель состояния водного баланса городской территории, учитывающая влияние и взаимосвязь природных и техногенных факторов;

- результаты исследования техногенных изменений водного баланса ландшафта, вызванных жилой застройкой по фактору нарушения поверхностного стока и фактору утечек из водонесущих сетей;

- методика оценки и проектирования инженерного благоустройства с применением компенсационных мероприятий, восстанавливающих водный баланс ландшафта.

Реализация результатов работы

Результаты исследования внедрены в учебный процесс при преподавании дисциплин «Комплексное инженерное благоустройство городских территорий» и «Инженерная подготовка территорий» и при дипломном проектировании для студентов ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», обучающихся по направлению «Строительство» образовательная программа «Городское строительство и хозяйство», в проектную работу МБУ «Мастерская генерального плана» при Департаменте архитектуры, градостроительства и регулирования земельных отношений Администрации г. Екатеринбурга, ООО «Проектная мастерская «Исеть».

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность подтверждена методами математической статистики, использованными при анализе данных, полученных методом случайного отбора в ходе обработки результатов обследований. В работе применено моделирование состояния водного баланса техногенного ландшафта, результаты которого подтверждают теоретические выводы.

Результаты диссертационной работы докладывались на XVII Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых «Строительство – формирование среды жиз-

недеятельности», г. Москва, 2014 г.; Международной конференции «Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур», г. Екатеринбург, 2015 г.; Международной научной конференции «Современные тенденции развития городских систем», посвященной 135-летию со дня рождения профессора, основателя уральской архитектурной школы К.Т. Бабыкина, г. Екатеринбург, 2015 г.

Основные результаты диссертации изложены в 7 работах, из которых 3 работы опубликованы в журналах, включенных в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

Личный вклад автора заключается в анализе отечественного и зарубежного опыта организации поверхностного водоотвода; в разработке классификации инженерного благоустройства и логико-математической модели водного баланса городской территории; в исследовании техногенных факторов, влияющих на водобалансовое состояние застроенной территории; разработке методики проектирования инженерного благоустройства на основе оценки состояния водного баланса городской территории и разработки комплекса компенсационных мероприятий.

Структура и объем диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, основных результатов и выводов, списка литературы и приложений. Содержит 162 страницы машинописного текста, 36 рисунков, 16 таблиц, 20 формул и 4 приложения. Список литературы включает 126 наименований отечественных и зарубежных авторов.

ГЛАВА 1. ВЛАЖНОСТНЫЙ РЕЖИМ ГОРОДСКИХ ЛАНДШАФТОВ

В первой главе рассмотрено существующее состояние вопроса, выявлены техногенные факторы, влияющие на водный баланс застраиваемого ландшафта, сделан обзор зарубежного и отечественного опыта проектирования и реализации водопоглотительных компенсационных мероприятий.

1.1. Характеристика техногенного ландшафта на основе водного баланса.

Переувлажнение и иссушение территорий

Города в настоящее время занимают порядка 8 % всей суши планеты [1], и эта тенденция роста сохраняется. Увеличение доли урбанизированных территорий на планете значительно влияет на окружающую среду, оказывает негативное воздействие на атмосферу и биосферу, что приводит к изменению естественных климатических условий [2, 3, 4]. Доля городского населения в России составляет в настоящее время 70 %, а количество городов и поселков превышает 3000 [5]. Возводимые на плотно застроенных городских ландшафтах здания и сооружения, а также инженерное благоустройство территорий, организация поверхностного водоотвода, прокладка коммунальных сетей, улиц и дорог, выполнение инженерной подготовки, включая устройство дренажных систем, оказывают угнетающее воздействие не только на застроенные ландшафты самих жилых образований, но и на нетронутые застройкой прилегающие к городу биотопы [6]. Поэтому основная идеология современного градостроительства основывается на создании моделей развития, согласующихся с природой, защищающих и сберегающих её для удовлетворения потребностей и экономического процветания настоящего и будущего поколений [7, 8].

Для ландшафтов в естественном состоянии характерен круговорот воды, представляющий собой замкнутый цикл (так называемый «цикл стока»), включающий в себя выпадение осадков, испарение, инфильтрацию, транспирацию, эвапотранспирацию и другие процессы по перемещению водных масс в окружающей среде. Но освоение территорий в результате градостроительной, сельскохозяйственной и иной деятельности человека неизменно влечет за собой вмешатель-

ство в естественный круговорот воды и нарушает таким образом устоявшийся цикл стока. Изменение цикла стока может приводить как к иссушению, так и переувлажнению природного ландшафта, что, в свою очередь, является причиной изменения естественного уровня грунтовых вод и состояния приповерхностного слоя почвы [2].

Территория России, сложенная в основном осадочными породами, является подтопленной в своём природном нетронутom состоянии, кроме того, на застроенных городских территориях имеет место техногенное подтопление [9-11]. Благоприятные в естественном состоянии гидрогеологические условия территории могут быть нарушены в результате строительной и хозяйственной деятельности человека. На удобной для строительства и эксплуатации местности с относительно глубоким залеганием подземных вод в результате техногенного влияния происходит подъём уровня грунтовых вод по сравнению с природным состоянием и нередко возможно развитие процесса заболачивания. Подтопление особенно больших размеров может возникнуть под воздействием искусственных факторов, например, при подпоре подземных вод в результате устройства гидротехнических сооружений. Но чаще всего развитие процесса техногенного подтопления городских территорий, которое проявилось в период массовой жилой застройки XX в., в [2, 10-13] связывают с такими причинами, как:

- ухудшение естественных условий стока ливневых и талых вод в период строительства и эксплуатации застроенных территорий;
- засыпка естественных дрена при планировке территорий;
- отсутствие коврового благоустройства и организованного поверхностного водоотвода;
- наличие фильтрационных потерь в связи с утечками из водонесущих коммуникаций;
- складирование снега на городских территориях либо искусственное сосредоточение твердых атмосферных осадков на отдельных участках территории городов (парки, скверы, бульвары, озелененное пространство между тротуарами и

мостовой), которое приводит к удлинению сроков таяния и увеличению инфильтрации талых вод;

– «зачеканивания» поверхности земли водонепроницаемыми покрытиями и, как следствие, нарушение естественных условий процесса испарения с поверхности земли.

Следствием этого стали суффозионные и эрозионные процессы, изменение химического состава и повышение уровня грунтовых вод во многих постсоветских городах. Например, в городах Баку, Астрахани, Туле, Красноярске и Архангельске утечки из водопроводов достигают от 15 до 38 % водоподачи и являются одной из главных причин подъёма уровня грунтовых вод [12].

На территориях российских городов весьма распространён и процесс понижения уровня грунтовых вод с последующим иссушением ландшафта, который связан с искусственным дренированием территорий площадными или локальными дренажными системами, которые часто устраиваются с принудительной откачкой грунтовых вод. Проблема «иссушения» также возникает в крупнейших городах в результате освоения подземного пространства, где распространено водопонижение на значительные глубины для защиты заглублённых сооружений, таких как метрополитен, подземные автостоянки, а также устройство водозаборных скважин питьевого и технического назначения, работа которых приводит к понижению уровня подземных вод и образованию искусственных депрессионных зон. Так, например, в г. Екатеринбурге (объект исследования) водозаборные скважины разбросаны по всему городу и пригородам на расстоянии от нескольких метров до нескольких километров друг от друга, но большее их количество сконцентрировано в центральной застроенной части города. Всего в пределах городской черты Екатеринбурга имеется более 300 водозаборных скважин. Таким образом, режим подземных вод на территории г. Екатеринбурга является нарушенным [9].

Для жилой застройки европейских городов (в настоящей работе приводятся примеры из Германии как наиболее характерной западноевропейской страны) свойственно понижение уровня грунтовых вод и иссушение городских ландшафтов, что связано с исключением инфильтрации атмосферных осадков, которые,

как правило, являются основным источником питания грунтовых вод. Застройка в странах Западной Европы отличается высоким уровнем благоустройства, включая полную организацию поверхностного водоотвода, сопровождаемую устройством большого количества водонепроницаемых покрытий. Высокое качество строительства и эксплуатации водонесущих сетей исключает появление утечек, поскольку питьевая вода сама по себе является дорогостоящим ресурсом.

С другой стороны, инженерное благоустройство с ковровым устройством усовершенствованных покрытий приводит к формированию «пиковых» объёмов поверхностного стока во время обильных осадков, что особенно в больших городах, расположенных на берегах крупных рек, чревато неблагоприятными последствиями или порой даже чрезвычайными ситуациями. Прямое попадание и выпуск поверхностных сточных вод в водоток может привести к неконтролируемому резкому подъёму уровня воды в реках и затоплению прибрежных территорий.

Наводнение в 2002 г. в Германии, Чехии и других странах, расположенных в бассейнах рек Влтава и Дунай, как и наводнение в 2012 г., затронувшее Германию, Чехию, Польшу и другие страны Восточной Европы, вызванные прямым попаданием в водные объекты поверхностных вод, повлекли за собой принятие ряда законов и конкретных мер на уровне Евросоюза. Эти законы и меры направлены на предупреждение и борьбу с подобными явлениями путём максимального задержания поверхностного стока на территории, как в источниках, так и путём устройства специальных регулирующих гидросооружений [14].

Таким образом, при застройке и освоении новых территорий происходит вмешательство в сложившийся природный уклад, нарушаются устоявшиеся связи и особенности, характерные для ландшафтов в естественном состоянии, а значит, на окружающую среду и микроклимат оказывается неблагоприятное техногенное влияние. Изменение водного баланса территорий, помимо отрицательного влияния на окружающую среду, ведёт к изменению микроклимата, который, в свою очередь, связан с понятием комфортных для проживания человека условий. Борьба с «перегревом» городской среды, что в европейской градостроительной практике обозначается как «Urban Heat Island Effect», становится еще одной актуаль-

ной задачей градостроительной экологии [15]. В этой связи необходима разработка «средств регулирования инсоляционного, температурно-влажностного и аэрационного режимов на участках жилой и общественной застройки, транзитных территориях, в зонах отдыха, например с использованием многообразных приемов озеленения, комплексного благоустройства и обводнения» [2].

В то же время в случае реконструкции или рекультивации территорий, антропогенное влияние на которые до этого момента было значительным и отрицательным, можно говорить о благоприятном восстановительном воздействии человека на ландшафт. Примеры позитивного опыта реабилитации промышленных территорий с целью частичного восстановления их природного потенциала и оздоровления окружающей среды и адаптация предложенных методов в отечественных условиях рассматриваются в работах [16-20]. Иными словами, в результате комплекса мер водный баланс застраиваемых территорий должен и может быть приближен к естественному балансу ландшафтов в нетронutom природном состоянии [6].

Решение задачи заключается в создании в городе регулирующих сток природно-антропогенных объектов с применением средств ландшафтного дизайна при комплексном учёте природоохранных, социальных, психологических и архитектурно-ландшафтных особенностей городской среды.

В связи с этим интерес для дальнейшего исследования представляет изучение отечественного и западного опыта техногенного влияния инженерного благоустройства новой и сложившейся городской застройки на окружающую среду, т.е. изучение техногенных факторов, влияющих на водный баланс застроенных территорий. Поскольку большую часть застроенных территорий современных отечественных городов занимает массовая жилая застройка начиная с середины XX в., дальнейшее исследование посвящено определению типа воздействия и типа компенсационных мероприятий, разрабатываемых для снижения антропогенной нагрузки на водный баланс застроенного ландшафта с учётом техногенного влияния сложившейся застройки.

1.2. Западноевропейский опыт поддержания благоприятного микроклимата в жилой застройке и организации поверхностного стока

Градостроительная идеология «устойчивого развития территорий», получившая в последние годы широкое распространение по всему миру, заключается в эффективном расходовании ресурсов, применении энергосберегающих технологий и альтернативных источников энергии, вторичной переработке отходов, сокращении выбросов вредных веществ в атмосферу, сохранении и защите окружающей среды, в том числе подразумевает создание благоприятных экологических и социально-психологических условий для проживания населения, поддержание комфортного микроклимата на застроенных территориях [21, 22]. Приоритетом градостроительства и создания инженерного благоустройства при подходе «устойчивого развития» является формирование комфортной и безопасной среды обитания человека при наименьшем влиянии на естественное состояние ландшафта. При данном подходе вмешательство человека в существующий природный ландшафт не может быть пущено на самотек. Каждый акт вмешательства должен проходить под контролем специалистов, должен быть исследован и оценен с точки зрения масштаба и качества вмешательства, а также поиска соответствующих компенсационных мероприятий. Оценка влияния происходит по множеству факторов: флора, фауна, почва, эстетический облик, поверхностная и грунтовая вода и т.д., т.е. комплексное влияние на окружающую среду и на будущее восприятие этой среды человеком, создание благоприятных условий для его жизни [23-26].

Анализ зарубежной практики был проведен путем изучения литературы и информации из всемирной сети Интернет, а также в результате личного участия автора в обследованиях характерных объектов в Германии, Швейцарии и Нидерландах. Как показал анализ, основные принципы устойчивого развития в области водного баланса техногенных ландшафтов включают в себя экологически оправданные концепции планировки, увеличение доли зелёных насаждений, применение в городской застройке комплексных компенсационных устройств – систем

организации поверхностного и грунтового стока, в том числе «задерживающих» атмосферные осадки, а также сохранение и поддержание водного баланса территорий и исключение влияния градостроительной деятельности на перераспределение значительных объёмов воды в реках и водоёмах.

Системы устойчивого развития в области водного баланса техногенных ландшафтов под различными названиями, но с принципиально похожей философией проектирования существуют во многих западных странах мира: в Европе носят название «Sustainable Urban Drainage Systems» (SUDS), в Австралии – «the term Water Sensitive Urban Design» (WSUD), похожие системы известны в США и Канаде как «Low-Impact Development» (LID), в Новой Зеландии – «Low Impact Urban Design and Development» (LIUDD) [27].

Широкое применение такие системы получили в Германии [28, 29] и Англии [30]. В Лондоне активно ведётся работа по внедрению различных защитных мероприятий на случай аномальных природных явлений, связанных с атмосферными осадками, которые включают и системы регулирования и задержания поверхностного стока [31, 32]. А также в Финляндии [33], Дании [34], Швеции [35, 36] и Голландии [37].

Основы проектирования городского поверхностного водоотвода «нового» типа в холодном климате, которые ближе к российским условиям, заложены скандинавскими специалистами: P. Stahre, S. Saegrov, S. Thorolfsson [38, 39]. Вопросы проектирования альтернативных систем водоотвода в Швеции, Норвегии, помимо стандартных проблем относительно ускорения процесса поверхностного водоотвода в плотной городской застройке, охватывают решения по исключению загрязнения снега [38, 40].

Организация поверхностного стока в странах с высоким уровнем инженерного благоустройства осуществляется по развитой системе закрытого водоотвода, включая сети на междомагистральной территории. В том числе, как правило, осуществляется прямой выпуск воды с крыш в закрытую систему водоотвода без пропуска дождевого стока по тротуарам (рисунок 1.1). Исключены утечки из водонесущих сетей как нерациональное расходование дорогостоящих ресурсов. В

целом высокий уровень инженерного благоустройства основывается на так называемом ковровом благоустройстве, когда вся дневная поверхность города спланирована и имеет покрытие (мощение, асфальт, газон и т.д.), что обеспечивает организованный поверхностный водоотвод.



Рисунок 1.1 – Примеры отечественной (г. Санкт-Петербург) и зарубежной (г. Хайльбронн, Германия, г. Леуварден, Нидерланды) практики организации поверхностного водоотвода в городах (здесь и далее фото автора)

Уровень благоустройства и организации поверхностного водоотвода в странах Западной Европы остается высоким и в настоящее время, но способы утилизации поверхностного стока вследствие политики устойчивого развития и

защиты территорий за последние 30 лет претерпели значительные изменения. Произошел отказ от централизованных систем очистки дождевого стока в пользу локальных систем очистки и выпуска. Основная цель этого альтернативного способа отвода поверхностных вод – утилизировать дождевую воду как можно ближе к месту её выпадения с минимизацией объёмов стоков, отводимых по закрытой водосточной сети. Тем самым максимально приблизив цикл стока к естественному состоянию, а значит, улучшив микроклимат, снизив влияние на окружающую среду и попутно сократив расходы на возведение водоотводных коллекторов и мощности централизованных очистных сооружений.

Подход устойчивого развития заключается в «задержании» дождевой воды на трёх основных этапах: в источнике, т.е. непосредственно на месте выпадения осадков; в процессе более «медленной» транспортировки, т.е. не напрямую по трубам; и перед выпуском в водные объекты – специальные регулирующие мероприятия, включая гидравлические сооружения и водозадерживающие ёмкости. Первый комплекс мероприятий реализуется на частной территории, площадке строительства и муниципальном уровне с использованием общественных зеленых пространств, последующие предусматриваются на муниципальном и региональном уровнях.

В Германии в одной из первых стран были реализованы проекты по альтернативным системам поверхностного водоотвода [28]. На основе принципа разделения загрязненной дождевой воды от автодорог и промплощадок и условно чистого стока с крыш и газонов после введения соответствующих земельных законов относительно очистки дождевого стока и децентрализации (при наличии такой возможности) системы поверхностного водоотвода [41] метод этот начал внедряться повсеместно. Очистка дождевого стока в настоящее время осуществляется по двум схемам: «groundwater runoff» (англ. отвод дождевого стока в грунт) и «surface water runoff» (англ. поверхностный водоотвод в «классическом» понимании). Основная задача реализации схемы «отвода дождевого стока в грунт» заключается в увеличении испарения и инфильтрации на застроенных территориях, с очищением и выпуском дождевой воды как можно ближе к месту её

выпадения без отвода по закрытой водосточной сети, но без ущерба качества городской среды и с обеспечением высокого уровня благоустройства.

Компенсационные мероприятия, за счёт которых реализуются эти задачи, представляют собой специальные аккумулирующие дождевую воду пруды, инфильтрующие траншеи, искусственно созданные котловины в зелёных зонах, дренажи обратного действия и пр. (рисунок 1.2). Простейшая очистка незагрязнённого дождевого стока на местах может осуществляться, например, через фильтрующее песчано-щебёночное основание, подстилающее мощение тротуаров и другие элементы ландшафтного дизайна либо через специальную конструкцию открытых водоотводных лотков, в основании которых также предусмотрен фильтр для очистки стока [29] с последующим прямым выпуском этого стока в водные объекты.



Рисунок 1.2 – Примеры компенсационных водопоглощающих устройств, вписанных в ландшафт (г. Хайльбронн, Германия)

Обобщив вышесказанное, можно сделать вывод, что применение систем альтернативного поверхностного водоотвода (SUDS) набирает всё большую популярность по всему миру в связи с благотворным влиянием таких систем на

микроклимат и окружающую среду. Применение компенсационных мероприятий за рубежом основывается на следующих принципах (рисунок 1.3):

- минимальное влияние урбанизационных процессов на естественный водный баланс ландшафта;
- сокращение загрязнения поверхностного стока;
- регулирование поверхностного стока для исключения затопления прибрежных территорий в случае аномальных дождей;
- задержание поверхностного стока для снижения нагрузки на закрытую систему водоотвода и очистные сооружения;
- создание систем отвода дождевого стока, которые должны быть гармонично вписаны в городской ландшафт.

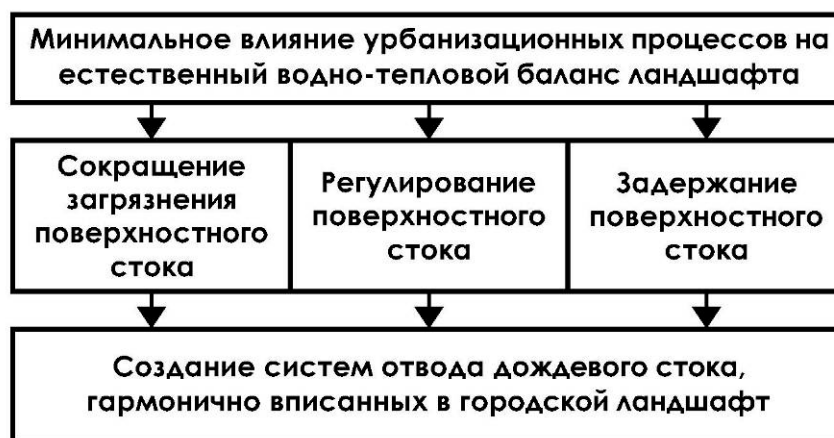


Рисунок 1.3 – Принципы применения компенсационных мероприятий

Таким образом, первостепенное значение в экологическом проектировании на основе водного баланса техногенного ландшафта имеет смена вектора к стремлению приблизить застроенную территорию к естественным условиям, т.е. проектирование и строительство с наименьшим вмешательством в природное состояние ландшафта либо создание компенсационных мероприятий, направленных на поддержание состояния ландшафта, приближенного к естественному. Гармоничное устойчивое развитие городских территорий должно предусматривать как защиту ландшафтов от затопления, так и защиту от иссушения. Иными словами, скорость поверхностного водоотвода в техногенных ландшафтах должна быть приближена к скорости поверхностного водоотвода на нетронутых природных территориях [15].

1.3. Организация поверхностного стока с учётом водного баланса техногенного ландшафта в России

Методологическая и теоретическая база проектирования и строительства инженерного благоустройства и инженерной подготовки, включая организацию поверхностного водоотвода, основывается на исследованиях в области инженерного благоустройства, инженерной подготовки и создания благоприятных условий для освоения территорий, непригодных для строительства, таких учёных, как А.А. Беляев, В.А. Бутягин, Г.И. Клиорина, В.Ю. Моисеев, В.А. Осин, О.С. Расторгуев, В.И. Сологаев, В.Л. Шафран, М.С. Шумилов и др., в том числе вопросы озеленения городских территорий освещены в работах Л.Б. Лунца, В.А. Горохова и др. Все вышеперечисленные авторы в большей или меньшей степени охватывают вопросы городского микроклимата и защиты окружающей среды, но более глубоко исследования в области экологического проектирования, защиты окружающей среды в условиях урбанизации и восстановления промышленных территорий освещены такими учёными, как А.Г. Большаков, В.В. Владимиров, В.Л. Глазычев, М.Н. Дивакова, Э.Э. Красильникова, Н.С. Краснощекова, И.В. Лазарева, В.А. Нефёдов, С.В. Сольский, С.Б. Чистякова.

Сложные процессы, связанные с влиянием урбанистической деятельности человека на окружающую среду, во всем их многообразии рассматриваются В.В. Владимировым в [1]. Оценка факторов, влияющих на жилую среду и человека, возникающих в результате развития городов, и анализ мер по улучшению экологической обстановки в городской среде проведены в [42].

Нормативная база проектирования и строительства инженерного благоустройства в ключе обеспечения поверхностного водоотвода, в том числе проектирование и расчёт систем дождевой канализации и дренажа, были заложены в советский период. Большая часть литературы предусматривает разработку мероприятий по инженерной подготовке с «классическим» подходом в вопросах организации поверхностного стока и защиты от подтопления [43, 44]. В настоящий момент основными нормативными документами в области проектирования и расчёта систем поверхностного водоотвода являются СП 42.13330.2011 «Градостро-

ительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» и СП 32.13330.202 «Канализация. Наружные сети и сооружения», согласно которым на территории городов следует применять закрытую систему водоотвода, применение открытых водоотводящих устройств допускается в средних и малых городах, сельских населенных пунктах, на парковых территориях, т.е. в малоэтажной застройке, где открытая система поверхностного водоотвода соответствует общему уровню благоустройства.

Одним из недостатков *открытой системы водоотвода* даже при высоком уровне инженерного благоустройства и эффективной работе элементов системы является то, что большое количество осадков при интенсивных дождях может привести к затоплению проезжих частей улиц и тротуаров и снижению санитарно-гигиенических условий городской среды. Но чаще всего открытая система водоотвода в малых городах работает в «естественном» режиме, т.е. система как комплекс мероприятий просто не предусмотрена, а дождевые воды отводятся стихийно выполненным канавам, стекают в бессточные участки антропогенного происхождения, снижая санитарно-гигиеническое состояние среды и создавая неблагоприятные условия для жизнедеятельности человека.

Таким образом, неправомерным будет сравнение альтернативной системы поверхностного водоотвода, применяемой на Западе, с открытой системой водоотвода в России в её традиционном понимании, так как в ней не предусматривается перелив стока в случае переполнения открытых элементов в результате аномальных дождей и возможно затопление поверхностей улиц и тротуаров. Но в какой-то мере менее благоустроенная открытая система поверхностного водоотвода, применяемая в российских малых населенных пунктах, может служить основой для создания альтернативной системы поверхностного водоотвода. Исключив этап полного «зачеканивания» поверхности земли в асфальт, который пережили западные страны, можно предусмотреть экологически оправданные системы и конструкции водоотводящих устройств без ущерба для комфорта условий проживания.

При *закрытой системе водоотвода* канализование в крупных городах (на примере Екатеринбурга), как правило, ведётся по полной раздельной системе водоотведения с устройством магистральной сети закрытой ливневой канализации в пределах красных линий и открытым поверхностным водоотводом на междемагистральных территориях. Действующими нормами СП 30.13330.2012 «Внутренний водопровод и канализация зданий» предусматривается прямой выпуск вод с крыш в систему дождевой канализации, минуя открытые лотки и плоскости тротуаров, но в условиях отсутствия закрытой ливневой сети допускается выпуск вод из водосточков на поверхность земли около здания, с сезонным переключением стока талых вод в хозяйственно-бытовую канализацию.

Другими словами, действующая в настоящий момент в крупных российских городах «схема» организации поверхностного водоотвода предусматривает отвод чистой воды с крыш на поверхность тротуаров, после в лоток проезжей части проездов и далее в дождеприемные колодцы, расположенные на прилегающих улицах. При обильных дождях это приводит к затоплению тротуаров и создает неудобство для движения пешеходов. Кроме того, чистая дождевая вода с крыш смешивается с загрязненным стоком с проезжих частей улиц и проездов, после чего попадает на очистные сооружения для последующей очистки перед сбросом в водоём. В то же время при нарушенном поверхностном водоотводе и отсутствии сети закрытой дождевой канализации в пределах жилых кварталов низкое качество покрытий и разрушенная отмостка способствуют ухудшению условий эксплуатации зданий в связи с возможностью чрезмерной инфильтрации атмосферных осадков через грунты обратной засыпки и, следовательно, нарушением тепловлажностного режима подземной части зданий и сооружений.

Наиболее прогрессивным положительным примером разделения дождевого стока и сброса вод из внутренних водосточков зданий напрямую в сеть закрытой ливневой канализации в г. Екатеринбурге является жилой комплекс «Академический». Где условно чистый сток с крыш и грунтовый сток от площадных и локальных дренажных систем отводится по отдельной сети с прямым выпуском вод в р. Патрушиху. Дождевой сток с покрытий автодорог отводится по отдельной се-

ти на очистные сооружения также с последующим выпуском в реку. Такое разделение позволило выполнить более частые выпуски условно чистого стока в реку и сократить диаметр дождевого коллектора до очистных сооружений, а также мощность самих очистных сооружений.

В то же время на протяжении последних лет заметно снизился уровень благоустройства жилых дворов г. Екатеринбурга, особенно периода массовой советской застройки (рисунок 1.4). Отсутствие ремонта, а также тот факт, что сеть внутренних проездов и стоянок рассчитана на более низкий уровень автомобилизации населения, приводит к возникновению несанкционированных стоянок автомобилей на газонах и дворовых площадках. Что, в свою очередь, привело к разрушению покрытий, бортового камня, нарушению целостности вертикальной планировки, выносу грунта на асфальтовые покрытия проездов, а также просачиванию в верхний почвенный слой нефтепродуктов и его загрязнение другими вредными веществами. А согласно [45] при оценке существующего благоустройства и состояния покрытий необходимо учитывать вред не только от большого количества заасфальтированных площадей, но и от открытого (эрозионного) грунта, приводящий к образованию пыли, а значит, и ухудшению условий для проживания человека.

В работах Чистяковой С.Б. заложены основы современной отечественной градостроительной экологии в архитектуре, включая оценку и разработку мероприятий по защите от загрязнения воздушного бассейна, защите городской среды от транспортного шума, по повышению эффективности системы озеленения территорий и улучшению микроклимата жилых территорий, также изложены экологические аспекты восстановления нарушенных территорий [11].

Устойчивому развитию территорий за счёт рационального использования ландшафта посвящены труды Большакова А.Г., изучены ландшафтные, архитектурные, градостроительные факторы организации рельефа, позволяющие восстанавливать нарушенные и деградированные территории, разработан авторский метод рекультивации нарушенных территорий – метод геопластики [46-53].

Сольским С.В., Гордиенко С.Г. предложены методы решения проблем обеспечения экологической безопасности территорий со сложившимся комплексным техногенным загрязнением, инженерно-экологического обустройства техногенно-нагруженных территорий, защите окружающей природной среды от вредного воздействия загрязненных грунтов и вод на объектах различного назначения [20, 54, 55].



Рисунок 1.4 – Примеры организации поверхностного водоотвода в г. Екатеринбурге

Вопросы геотехнического водоотведения в комплексе мероприятий по инженерной подготовке при новом строительстве и в условиях реконструкции исторически сложившихся территории широко освещены Клиориной Г.И. в [56-61]. Результаты исследования Сологаева В.И. в области защиты городских территорий от подтопления представлены в [62-65].

Круг вопросов, охватываемый понятием устойчивого развития и решение экологических проблем урбанизированных территорий приемами и средствами ландшафтной архитектуры для городов Урала рассмотрены Диваковой М.Н. [66, 67], а также в [68].

Согласно работам Красильниковой Э.Э. [69-71] ландшафтные технологии и приёмы ландшафтного проектирования и строительства позволяют преобразовывать деградирующие городские территории или формировать современные ландшафтно-градостроительные объекты и комплексы, обеспечивающие экоустойчивость и улучшающие окружающую среду.

Главная цель градостроительной экологии сформулирована как «обеспечение наиболее благоприятных условий для жизнедеятельности человека и сохранение экологического равновесия на той или иной территории при одновременном рациональном использовании материальных, природных, трудовых и других ресурсов» [11]. При этом под экологическим равновесием понимается «динамическое состояние природной среды, при котором обеспечиваются саморегуляция и воспроизводство основных её компонентов – атмосферного воздуха, водных ресурсов, почвенного покрова, растительности и животного мира» [11]. Это подтверждает тезис о том, что экологически оправданная градостроительная деятельность стремится к экологическому равновесию в застраиваемых ландшафтах с минимальным антропогенным влиянием на окружающую среду и созданием комфортных условий для жизнедеятельности человека.

Проблемы техногенного воздействия, включая сплошное «зачеканивание» поверхности города водонепроницаемыми покрытиями и его влияние на городскую среду и окружающий ландшафт, поднимались во многих исследованиях [2, 11, 18, 45, 70-74]. В данных работах затрагиваются вопросы, касающиеся устройства вертикальной планировки и водонепроницаемых покрытий в городах, когда сокращается возможность развития растительности на поверхности земли, а также вопросы отрицательного действия покрытий на жизнедеятельность микроорганизмов в почве. Рекомендации по улучшению этой ситуации сводятся к снижению использования сплошного и максимально возможного применения «прозрачного» покрытия поверхности земли при благоустройстве территории; максимальному сохранению естественного рельефа в нетронutom (природном) состоянии в пределах микрорайона и выполнению вертикальной планировки, измене-

нию существующего рельефа только на участках расположения зданий, сооружений и проездов; широкому использованию зелёных насаждений и газонов.

Исследователем развития городской среды Глазычевым В.Л. в [45, 75] рассмотрена также социальная сторона проблемы повторного использования и альтернативного подхода к утилизации дождевой воды. Им обозначены необходимость разделения условно чистого стока с крыш и газонов от загрязненного поверхностного стока с покрытий проезжих частей и дальнейшее использование чистого дождевого стока в инженерном благоустройстве для поддержания естественного состояния почвы и создания комфортного микроклимата застройки.

Таким образом, ранее проведенные исследования техногенного воздействия на ландшафт имеют более архитектурно-градостроительную направленность, включая социальную адаптацию и психологическое принятие экологического подхода к проектированию ландшафтного дизайна, но в меньшей мере являются инженерными способами оценки и методиками для проектирования городской среды на основе водного баланса техногенного ландшафта.

Широко известно благоприятное влияние *зелёных насаждений* на качество городской среды, включая чистоту воздуха [2, 76, 77]. Зелёные насаждения способны существенно влиять на микроклимат, понижая температуру и увеличивая скорость движения воздуха, что при жарких летних условиях в застроенном ландшафте благоприятно действует на организм человека и создает комфортность теплоощущения в условиях перегрева городской среды. Это связано с тем, что при повышении влажности воздуха уменьшается прозрачность атмосферы, а вследствие этого уменьшается и количество лучистой энергии, достигающей поверхности земли, т.е. растения воздействуют на радиационный режим, снижая интенсивность прямой солнечной радиации. Испаряющая поверхность листьев деревьев, кустарников, стеблей трав и т.п. превышает площадь почвы, занимаемой растительностью, поэтому на озелененных территориях и на прилегающих участках увеличивается влажность воздуха [2, 74, 78, 79]. А повышение влажности воздуха в умеренном климате оказывает положительное влияние на теплоощущение

человека в городе, так как относительная влажность в городах, как правило, ниже, чем в естественных природных условиях [11].

В связи с этим эффект влияния озеленения на влажность воздуха, а следовательно, на тепловой режим, можно значительно увеличить, сочетая зелёные массивы с обводнением территорий путём устройства искусственных водоёмов, питание которых осуществляется очищенным поверхностным стоком [18, 73, 80, 81]. В то же время, умело применяя влаголюбивые растения и используя их качества на территории с повышенной относительной влажностью (выше 70 %), последнюю значительно можно снизить [82]. Таким образом, грамотное озеленение и обводнение территорий могут служить регуляторами тепловлажностного режима на территории, тем самым способствуя созданию комфортного микроклимата в городской застройке [83].

«Зачеканивание» поверхности земли в асфальт и устройство искусственного водопонижения при защите от подтопления влияют также и на гидрогеологические условия ландшафта. Но в [84] «не исключается применение методов искусственного пополнения подземных водоносных горизонтов путем устройства поглощающих колодцев, использования «заливных земель» и т.п. для сохранения природного равновесия».

По данным Рекомендаций [85], являющихся дополнением к СП 32.13330.2012 «Канализация. Наружные сети и сооружения», в сложных условиях и при отсутствии мест для выпуска дождевых вод сброс поверхностного стока в сельских населённых пунктах, коттеджных посёлках, а также сброс дождевых вод от внутренних водостоков зданий и отдельных водосборных площадей с водонепроницаемыми покрытиями может осуществляться в испарительные бессточные пруды, поглощающие колодцы, траншеи или фильтрационные бассейны.

Вышесказанное свидетельствует о том, что действующим законодательством с учётом существующих исследований в целом допускается устройство альтернативных систем отвода поверхностного стока в бессточные пруды, поглощающие колодцы и т.п. при соответствующем обосновании и подходящих климатических, геологических и гидрогеологических условиях. Но такие меро-

приятия носят, в первую очередь, не экологический, а практический характер, а конкретных официальных рекомендаций и методик, на которые возможно было бы опираться при принятии подобных решений, не разработано. Кроме того, отсутствует так называемая «принудительная» составляющая применения альтернативных систем для тех площадок, где это технически возможно, хорошо зарекомендовавшая себя, например, в земельных законах ФРГ.

В то же время при гражданском строительстве изыскатели и проектировщики сталкиваются с проблемой определения прогнозного и назначения расчётного уровня грунтовых вод (УГВ). Согласно СНиП 2.06.15-85 «Инженерная защита территории от затопления и подтопления» расчётный максимальный уровень грунтовых вод на защищаемых территориях следует назначать с учётом прогнозного колебания от различных источников подтопления природного и антропогенного происхождения. Также в этом документе указывается, что при защите территории от подтопления проектирование дренажных систем должно вестись на основе водобалансовых расчётов. Более подробно это понятие раскрывается в справочном пособии к СНиП [86]. Прогноз гидрогеологических условий согласно СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» должен выполняться с учётом естественных и техногенных факторов, оказывающих влияние на формирование многолетнего режима подземных вод, в том числе методами математического моделирования. При этом для г. Екатеринбурга, рассматриваемого как объект исследования, не существует принятых нормативных методик подобного расчёта и моделирования. Наиболее распространённым в проектировании на данный момент является аналитический метод прогноза изменения УГВ по аналогии с режимными данными или многолетними наблюдениями на площадках со схожими гидрогеологическими условиями. В то же время при освоении ранее незастроенных территорий происходит кардинальное изменение водного баланса ландшафта, при этом прогноз УГВ для разработки проектных решений по инженерному благоустройству и инженерной подготовке, включая водопонижение, обеспечение поверхностного водоотвода и т.д., имеет определяющее значение. Прогноз УГВ при строительстве на освоенных территориях при реконструкции и уплотнении

застройки, когда ландшафт уже находится в условиях нарушенного естественного водного баланса, также значительно затруднён.

Анализ литературы и сравнение существующего состояния инженерного благоустройства в современных городах в России и за рубежом позволили сделать вывод о том, что инженерное благоустройство в России в части поверхностного водоотвода направлено в первую очередь на скорейший отвод поверхностных вод с территории застройки для обеспечения комфортных и безопасных условий передвижения транспорта и пешеходов, а также защиты зданий и сооружений. Современные же тенденции требуют пересмотреть подход к отводу и выпуску дождевого стока с городской территории. Главными принципами должны стать исключение смешивания условно чистого стока с крыш с поверхностным стоком на асфальтовых покрытиях улиц и проездов, а также максимальное задержание осадков в месте их выпадения.

Оценка техногенного воздействия на поверхностный сток в отечественной градостроительной практике имеет уклон в сторону предотвращения загрязнения окружающей среды выбросами вредных веществ. Во вновь застраиваемых территориях регулируются параметрические загрязнения, оцениваются предельно допустимые концентрации выбросов, предусматриваются защитные мероприятия и методы борьбы с эмиссиями. При этом регулирование объёмов поверхностного стока на законодательном уровне оценивается только с точки зрения пропускной способности системы и мощности очистных сооружений.

Утверждение: «чем больше осадков остаётся на площадке, тем лучше» является негласным и в нормах не оговаривается. Косвенно это утверждение можно подкрепить аргументами экономического характера: сокращение объёма отводимого с территории поверхностного стока (уменьшение коэффициента стока) приводит к снижению нагрузки на очистные сооружения. Сокращение объёма отводимого с территории поверхностного стока может обеспечиваться за счёт изменения баланса покрытий, когда сокращается количество асфальта и увеличивается количество озеленённых площадей. Что подтверждает мировая практика, согласно которой одним из условий сохранения экологической комфортности на застро-

енных территориях является сокращение твердых покрытий в пешеходном пространстве, что помимо экономической и экологической имеет и эстетическую функцию [18].

Высокий уровень теоретической базы советских и российских специалистов в области инженерного благоустройства и организации поверхностного водоотвода фактически при реализации проектов нередко «на местах» сталкивается с нежеланием тратиться на системы поверхностного водоотвода как мероприятия «не первой необходимости». Отдельные капитальные объекты часто строятся без наличия ресурса сброса ливневых вод в силу того, что муниципальные власти не обеспечивают участки, отдаваемые под застройку, полноценной инфраструктурой и отдают эти вопросы на откуп застройщикам, которые чаще всего не стремятся вкладывать средства в строительство или реконструкцию магистральных систем поверхностного водоотвода.

Мало внимания уделяется повторному использованию дождевых вод в хозяйственных целях. В России присутствует отношение к ним как к загрязненным сточным водам, требующим очистки. Та же участь постигает и дренажные воды, которые также являются чистыми грунтовыми водами, но, как правило, смешиваются с более загрязненным поверхностным стоком при выпуске в сеть дождевой канализации.

Отмечается недостаточность методической базы для определения «предельного» состояния ландшафта, когда уже невозможно увеличивать антропогенную нагрузку, а прерывание естественных процессов в приповерхностном слое почвы приведет к необратимым последствиям, деградации ландшафта как природного биотопа. Архитектор В.А. Нефёдов в [18] утверждает, что «прогнозирование ситуации взаимодействия человека и природы при застройке территорий является перспективным направлением ландшафтно-экологического подхода». Таким образом, очевидна потребность в создании методики анализа водного баланса застраиваемых территорий с учётом естественных и техногенных факторов для более точного определения ожидаемого водобалансового состояния ландшафта после строительства, а также соответствующей законодательной базы. Для успешного решения задач необходима разработка ряда проектно-расчетных «инструментов», способных реализовать альтернативный подход к проектированию систем поверхностного водоотвода [87].

1.4. Существующий опыт задержания поверхностных и грунтовых вод в техногенном ландшафте

Системы и элементы по организации поверхностного стока с территорий во всех странах имеют в целом одинаковый принцип, predetermined физическими законами движения воды. Поэтому технологические особенности и особенности применения тех или иных материалов и конструкций при строительстве водосточных сетей в рамках настоящей работы не рассматриваются. В свою очередь, разработка компенсационных мероприятий, направленных на поддержание естественного водного баланса ландшафтов, снижение градостроительного влияния на окружающую среду и сохранение или создание комфортного для человека микроклимата широко в отечественной литературе не освещены. Далее приводятся результаты анализа существующего опыта проектирования и реализации водораспределительных и водопоглощающих компенсационных устройств, их конструкций и применяемых технологий в отечественной и зарубежной практике.

1.4.1. Отечественный опыт

В российской практике городского строительства в основном встречаются решения по регулированию и перераспределению грунтовых, а не поверхностных вод с помощью устройства водопонижительных и водопоглощающих систем. При водоносных горизонтах, обладающих достаточно хорошей фильтрующей способностью и не используемых для водоснабжения, подземные воды, отобранные дренажами, могут быть сброшены в эти нижележащие водоносные горизонты при помощи поглощающих колодцев. При дренировании городских территорий согласно [13] поглощающие колодцы можно применять лишь в исключительных случаях, так как при эксплуатации они весьма часто нарушают свою нормальную работу из-за механического загрязнения и заиливания. Рекомендации по проектированию и расчёту водопоглощающих колодцев изложены в [10, 44, 88-91].

Устройство водопоглощающих колодцев для отвода дренажных вод наибольшее применение получило в малых населенных пунктах, где, как правило,

отсутствуют водотоки или системы закрытой дождевой канализации (рисунок 1.5).

В уральских условиях исследования по переводу поверхностного стока в грунтовый были проведены В.Г. Шауфлером. Им были предложены водопоглотительные конструкции по выпуску дождевого стока в нижележащий необводненный грунтовый массив. Одна из систем локального поверхностного водоотвода с бессточной территории больницы в г. Нижней Тагил, реализованная на основе этого исследования в начале 90-х гг. прошлого века, функционирует и в настоящее время [92].

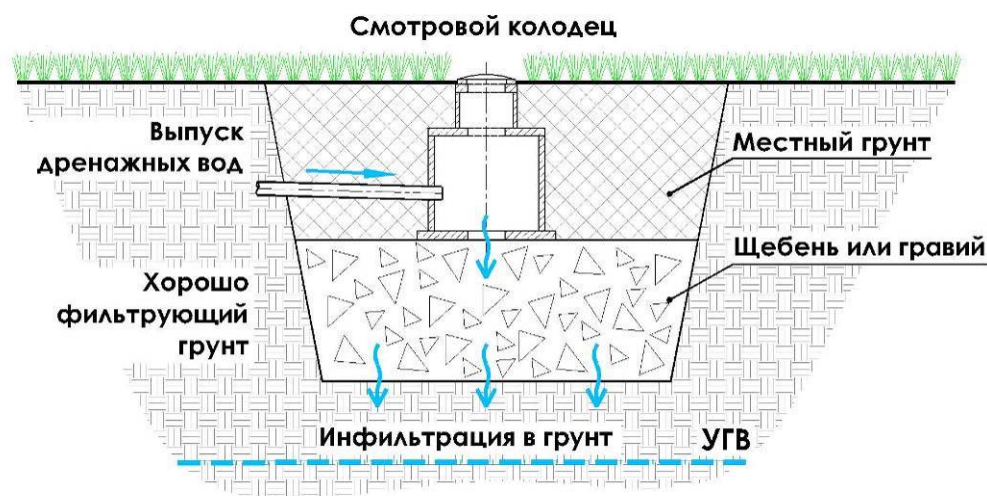


Рисунок 1.5 – Принципиальная схема водопоглощающего колодца

В [90] также приводится принцип проектирования и последовательность расчёта испарительно-поглощающих бассейнов при организации поверхностного водоотвода на аэродромах, наибольший эффект от применения которых достигается в районах с высокой испаряемостью и при расположении бассейнов на участках с хорошо водопроницаемыми грунтами.

Применение таких водопоглотительных колодцев носит более практический характер и только косвенно направлено на улучшение экологического состояния ландшафта, т.е. решается конкретная задача по отводу грунтовых вод в условиях отсутствия места сброса: водного источника или системы дождевой канализации. При этом опыт реализации конструкций, учитывающих местные условия, имея прикладное значение, может быть использован для регулирования поверхностного и грунтового стока также и в экологическом смысле.

1.4.2. Западноевропейская практика

В Западной Европе системы регулирования поверхностного стока имеют экологическое, экономическое и защитное обоснование. Так, например, на территории федеральной земли Баден-Вютемберг (Германия) реализован ряд мер, снижающих прямое попадание дождевого стока с застроенных территорий в водотоки, для исключения затопления населённых пунктов, расположенных ниже по течению. В Германии на законодательном уровне регулируются вопросы экологического проектирования. Комплекс мероприятий решается индивидуально в каждом отдельно взятом проекте. Помимо сохранения флоры и фауны, в целом проводится политика максимального сохранения существующего водного баланса территории или приближения его к естественному состоянию при реконструкции уже освоенной территории. Для этого помимо основной проектной документации выполняется так называемый Отчет по экологии (нем. *der Umwelbericht*).

В области организации поверхностного стока и выпуска его в водные объекты существует понятие гидротехнической защиты и альтернативных методов отвода дождевой воды с застроенной территории. Эти два вопроса имеют несколько различное назначение, но в то же время они взаимосвязаны. В рамках данной работы рассмотрены примеры реализации гидротехнических сооружений и альтернативных водопоглотительных систем на примере водного бассейна р. Некар, протекающей по земле Баден-Вютемберг на юго-западе Германии. Вопрос необходимости разработки защитных мероприятий и устройств наиболее остро встал после затоплений городских территорий в конце XX в.

Режим реки исторически зарегулирован системой плотин-шлюзов, но затопления 1990-х гг. показали, что этих мер недостаточно, в связи с чем было принято решение реализовать программу по регулированию объёма стока, поступающего в основную водную артерию региона – р. Некар, из более мелких рек и ручьёв. В рамках этой программы предусмотрены мероприятия гидротехнического характера на региональном уровне, представляющие собой дамбы на речках и ручьях. Также и на местном уровне предприняты мероприятия по всемерному сокращению объёма поверхностного стока и задержанию его на территории, на ко-

торой выпадают осадки. Это приводит к уменьшению объёма вод, поступающих в коллекторы закрытой ливневой канализации.

Нормативно-правовой базой для разработки гидротехнических сооружений служат немецкие промышленные нормы DIN19700. Эти специальные сооружения позволяют регулировать объём стока, сбрасываемого в реку, а при необходимости задерживать его и спускать в более крупный водоток по мере ухода высокой воды. Затопления 2000–2002 гг. подтвердили актуальность данной проблемы и ускорили процесс проектирования и строительства системы защитных мероприятий, согласно расчётам при полной реализации системы будет обеспечена защита территории от возможного затопления на расчётный период 1 раз в 100 лет.

Помимо устройства гидротехнических сооружений предусмотрено сокращение объёмов стока непосредственно в источнике, что является планировочным градостроительным мероприятием. Наибольший объём стока формируется на водонепроницаемых покрытиях: асфальт, крыши зданий и сооружений. Сточные воды с проезжих частей, по которым движется автотранспорт, перед выпуском в водные объекты должны подвергаться очистке, воды с крыш являются чистым стоком, который может быть задержан в пределах территорий, где он выпадает и «утилизирован» естественным образом в результате испарения, транспирации и инфильтрации. Это, в свою очередь, благоприятно влияет на водный баланс и микроклимат техногенного ландшафта. В результате снижается объём дождевой воды, напрямую отводимой в водотоки, уменьшается нагрузка на коммунальные системы поверхностного водоотвода: коллекторы, насосные станции, камеры гашения напора, очистные станции и т.д., что, в свою очередь, приводит к сокращению затрат как в период строительства системы, так и на период эксплуатации.

С точки зрения градостроительного регулирования поверхностного стока и поддержания благоприятного микроклимата интерес представляют не гидротехнические сооружения, а мероприятия и устройства по задержанию поверхностного стока на застроенных территориях. На основе западного опыта применения,

проектирования и строительства можно выделить следующие методы и технологии по задержанию дождевой воды на территории [93]:

а) Застраиваемые площади максимально выполняются из хорошеводопоглощающих покрытий с малым коэффициентом стока (рисунок 1.6 а). Устройство улично-дорожной сети ведётся с минимально необходимым асфальтированием дневной поверхности земли. Например, места для парковки автомобилей выполняются из газона, укрепленного георешеткой.

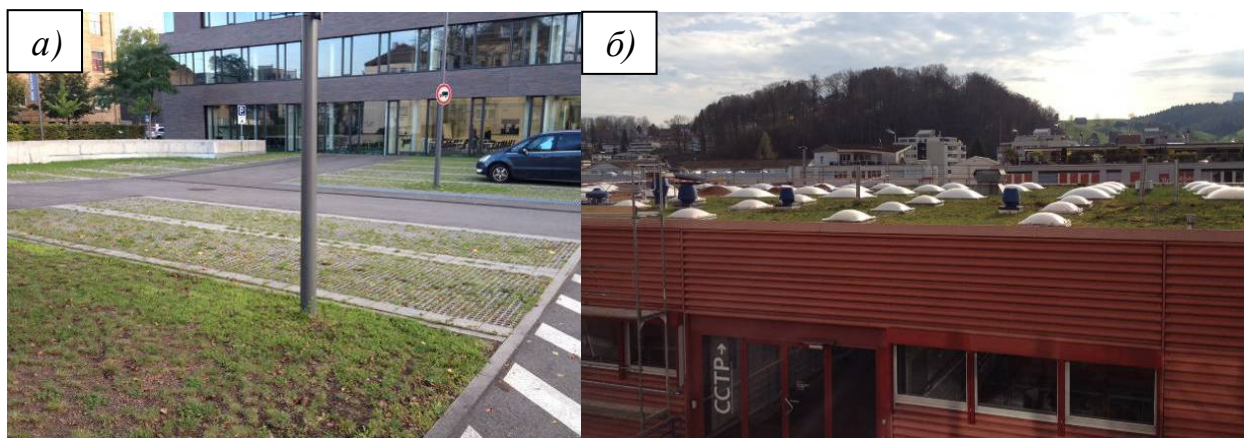


Рисунок 1.6 – а – Пример покрытия стоянки для автомобилей путём устройства газона, укрепленного решёткой (г. Хайльбронн, Германия); б – Пример озеленения крыши здания (г. Люцерн, Швейцария)

б) Устройство зелёных крыш (рисунок 1.6 б), когда конструкция плоской кровли представляет собой многослойный пирог, в самом простом исполнении состоящий из гравийного слоя и слоя плодородного грунта, засеянного стелящейся растительностью, обладающей повышенной способностью к транспирации и эвапотранспирации. В настоящее время в мире широко применяется вертикальное озеленение, разработаны и применяются различные конструкции «зелёных» крыш, начиная от устройства газонов и заканчивая посадкой на крыше особых видов деревьев [94]. Помимо улучшения теплотехнических характеристик кровли, устройство такой конструкции значительно уменьшает коэффициент поверхностного стока с крыш с 1,0–0,9 до 0,6–0,5. Такое решение особенно актуально для плоских кровель больших площадей промышленных и торговых зданий.

в) Отвод дождевых вод в специальные задерживающие системы – мульды (нем. die Mulde), которые представляют собой искусственные протяженные или точечные понижения поверхности, пруды или траншеи, вписанные в ланд-

шафт (рисунок 1.7). Каскадная система мульд выполняет роль накопительной ёмкости, где чистый дождевой сток с крыш и покрытий аккумулируется, частично испаряется и инфильтруется (при благоприятных для этого гидрогеологических условиях). Возможна посадка специальной водолубивой водопоглощающей растительности, что приводит к дополнительному снижению стока в результате транспирации через корни растений и испарения с поверхности листьев, стеблей и пр.

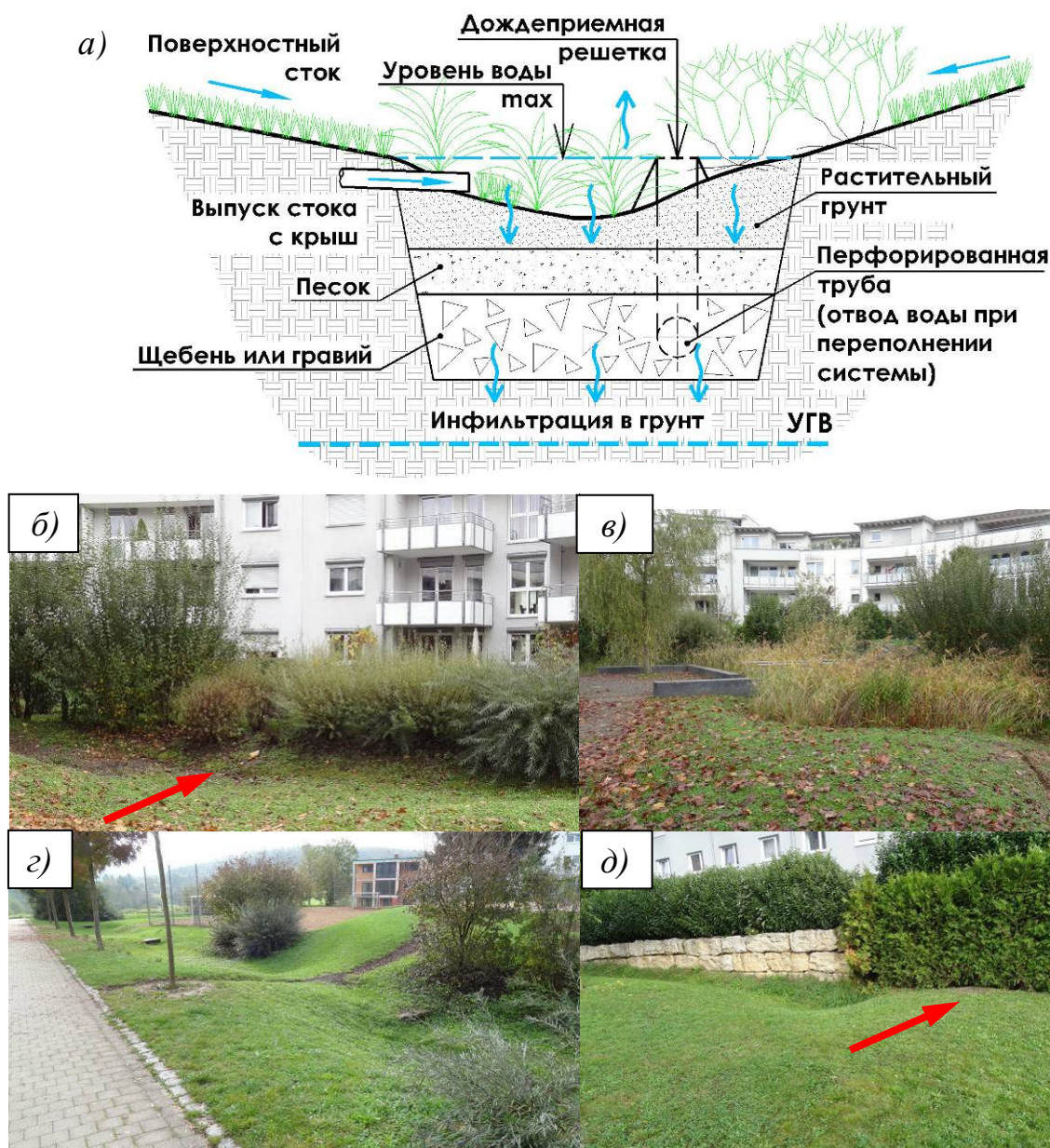


Рисунок 1.7 – Пример устройства мульд в благоустройстве жилой застройки (г. Хайльбронн, Германия). а – Принципиальная схема конструкции водозадерживающей мульды; б – Выпуск стока с крыш в водоотводящую траншею; в – Мульда со специальной водопоглощающей растительностью; г – Каскад водопоглощающих траншей; д – Устройство дождеприемника для обеспечения перелива поверхностных вод в случае переполнения системы

г) Отвод чистого дождевого стока в подземные фильтрующие траншеи (нем. die Rigole), когда происходит перераспределение поверхностного стока в грунтовый без образования зеркала воды на поверхности земли (рисунок 1.8). Такое решение реализуется, как правило, в стесненных условиях, в ландшафтах, где позволяют гидрогеологические условия, когда площадка сложена хорошо фильтрующими грунтами при достаточно низком уровне грунтовых вод. Подземные поля фильтрации, выполненные по типу фильтрующих траншей, могут достигать значительных размеров и «перерабатывать» большое количество стока. В данных фильтрующих траншеях также выполняется простейшая очистка через песчаные и/или синтетические фильтры. Основные принципы утилизации сточных вод, в том числе дождевых, для малоэтажной застройки изложены в [95].



Рисунок 1.8 – Принципиальная схема водопоглощающей траншеи – Regole

д) Отвод и сбор воды в подземные ёмкости-резервуары с последующим использованием дождевой воды для полива и хозяйственно-бытовых нужд. Объём ёмкости определяется в зависимости от площади участка, с которого предусматривается сбор воды. Наиболее характерное расчетное соотношение: 3 м³ ёмкости на каждые 100 м² площади крыши. Такой способ наибольшее распространение имеет в частной малоэтажной застройке.

Вышеперечисленные методы и технологии по задержанию атмосферных осадков и утилизации поверхностного стока на застроенных территориях сведены в таблице 1.1.

В периоды интенсивных дождей, когда конструкция альтернативной системы водоотвода не справляется, предусматривается перелив избыточной воды в

традиционную закрытую систему ливневого стока или, в случае открытых мульд-прудов, перелив в близлежащие водотоки – ручьи, овраги и т.п. Инженерное решение по переливу вод на случай переполнения системы обеспечивает высокий уровень благоустройства, безопасность и удобство для передвижения транспорта и пешеходов даже в периоды выпадения большого количества осадков.

Таблица 1.1 – Классификация методов и технологий по задержанию атмосферных осадков и утилизации поверхностного стока на застроенных территориях

№	Тип компенсационных мероприятий	Описание конструкции и принципа действия		Технология задержания атмосферной влаги
1	Планировочное решение, которое подразумевает максимальное озеленение застроенной территории	1а	Обоснованное сокращение водонепроницаемых покрытий и увеличение озеленения в общем балансе покрытий городских территорий	Уменьшение объема поверхностного стока за счёт задержания атмосферных осадков лиственной зеленой насаждений. Инфильтрация и транспирация
		1б	Озеленение плоских кровель	
2	Специальные задерживающие водоотводящие системы	2а	Фильтрующие траншеи и мульды с образованием открытого зеркала воды на поверхности	Аккумуляция атмосферных осадков в искусственно созданных понижениях местности, вписанных в ландшафт, с последующим испарением, инфильтрацией и транспирацией
		2б	Подземные фильтрующие траншеи, в том числе подземные поля фильтрации	Аккумуляция атмосферной влаги в свободном пространстве фильтрующих отсыпок или специальных фильтрующих конструкций, с последующей инфильтрацией в грунт
3	Специальные накопительные ёмкости-резервуары	Отвод и сбор дождевой воды в специальные накопительные ёмкости-резервуары, расположенные, как правило, в пределах одного индивидуального участка		Использование воды для полива и технологических, в том числе хозяйственно-бытовых нужд

Помимо вопросов микроклимата и защиты от затопления устройство альтернативных систем утилизации поверхностного стока на частных территориях, как правило, малоэтажной застройки, имеет экономическую причину. Высокая оплата коммунальных услуг за холодное водоснабжение и отвод дождевого стока привела к развитию в странах Западной Европы альтернативных систем водоотведения и использованию сточных вод для полива и других хозяйственных целей (стирка, смыв в туалете и т.д.). Кроме того, муниципальные власти снижают коммунальную плату за канализацию для тех участков, где применены специальные водопоглощающие системы.

Обобщая вышесказанное, компенсационные мероприятия, аккумулирующие поверхностный сток, по характеру их работы можно разделить на поглощающие и испаряющие. Первые могут быть применены на ландшафтах, сложенных хорошо фильтрующими грунтами, с низким уровнем стояния грунтовых вод. Вторые применимы для любых территорий, но, как и системы первого типа, оборудуются специальными устройствами-переливами в канализацию, исключающими переполнение элементов системы и затопление территорий. Таким образом, для определения вида применяемых компенсационных устройств необходимо классифицировать природные и техногенные ландшафты по состоянию водного баланса этих территорий.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1

1. Анализ литературы и существующего состояния инженерного благоустройства современных городов в России и за рубежом позволил сделать вывод о том, что инженерное благоустройство в части организации поверхностного водоотвода направлено в российской практике исключительно на скорейший отвод поверхностных вод с территории застройки.
2. С учётом современных тенденций следует изменить подход к отводу и выпуску дождевого стока с городской территории. Главным принципом должно стать исключение смешивания условно чистого стока с крыш с поверхностным стоком на покрытиях проезжих частей улиц и проездов, а также максимальное задержание осадков в месте их выпадения.
3. Оценка техногенного воздействия на поверхностный сток в отечественной градостроительной практике имеет уклон в сторону предотвращения загрязнения окружающей среды выбросами вредных веществ. На законодательном уровне регулирование объёмов поверхностного стока оценивается только с точки зрения пропускной способности системы и мощности очистных сооружений. Оценка с точки зрения нарушения водного баланса в российской практике градостроительства отсутствует.
4. Выявлена потребность в создании методики анализа водного баланса застраиваемых территорий с учётом естественных и техногенных факторов для более точного определения ожидаемого водного состояния ландшафта после строительства.
5. Выявлена потребность в разработке градостроительных инженерных инструментов, способных реализовать альтернативный подход к проектированию систем поверхностного водоотвода. По характеру эти инструменты следует разделить на поглощающие и испаряющие. Первые могут быть применены на ландшафтах, сложенных хорошо фильтрующими грунтами, с низким уровнем стояния грунтовых вод, вторые – практически в любых условиях.
6. Выявлена потребность в разработке механизма, позволяющего классифицировать природные и техногенные ландшафты по состоянию их водного баланса для определения вида применяемых компенсационных устройств.

ГЛАВА 2. МОДЕЛЬ ВОДОБАЛАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНОГЕННОГО ЛАНДШАФТА

Анализ отечественного и зарубежного опыта проектирования инженерного благоустройства застраиваемых территорий с учётом факторов, влияющих на формирование цикла стока, выявил целесообразность дифференцированного подхода к проектированию и строительству инженерного благоустройства. Для этой цели потребовалось разработать соответствующую типологию методов благоустройства.

2.1. Типология методов инженерного благоустройства

Под понятием «комфортного микроклимата» подразумевается тот факт, что состояние водного баланса освоенных городских территорий должно быть максимально приближено к естественному. В связи с этим основной принцип проектирования и выполнения инженерного благоустройства может быть сформулирован как «не навредить». То есть максимально сохранить естественный баланс ландшафта или же улучшить его водобалансовое состояние в случае строительства или реконструкции на уже освоенных территориях. В этом контексте актуальной задачей становится прогнозирование водного баланса площадки в зависимости от запланированного градостроительного развития.

Для оценки прогнозируемых нарушений поверхностного стока в первую очередь предлагается классифицировать предназначенные для застройки территории на три категории, соответствующие трём формализованным влажностным состояниям техногенного ландшафта:

1. Ландшафт с тенденцией на перенасыщение (подтопление).
2. Ландшафт с тенденцией на стабильное состояние.
3. Ландшафт с тенденцией на иссушение.

Соответственно этой классификации подразделяются и методы или подходы к инженерному благоустройству [96]:

1. Благоустройство типа: «*B-minus*» – когда проектируемый техногенный ландшафт имеет тенденцию на перенасыщение или на подтопление (рисунок 2.1). Запроектированные или существующие элементы благоустройства и гидрогеологические условия – фильтрационные свойства грунтов, слагающих площадку, естественное положение уровня грунтовых вод и т.д. приводят к подтоплению территории, повышению уровня грунтовых вод, что, в свою очередь, может нарушать влажностный режим заглублённых помещений зданий и сооружений. На таких территориях требуется регулирование и стабилизация влажностного режима, устройство инженерного благоустройства, предотвращающего инфильтрацию поверхностных вод непосредственно на площади выпадения. Компенсационные мероприятия, направленные на поддержание комфортного микроклимата, должны обеспечивать испарение и исключать инфильтрацию грунтовых вод в пределах рассматриваемой площадки строительства.
2. Благоустройство типа: «*B-0*» – когда проектируемый ландшафт имеет стабильное равновесное состояние с точки зрения водного баланса (рисунок 2.2). Предложенный набор элементов инженерного благоустройства сохраняет или эквивалентен естественному состоянию ландшафта. Специальные компенсационные мероприятия не требуются.
3. Благоустройство типа: «*B-plus*» – когда проектируемый ландшафт имеет тенденцию на иссушение. Запроектированные или существующие элементы благоустройства приводят к иссушению ландшафта, превращению его в техногенную среду (рисунок 2.3). Такие площадки, как правило, сложены хорошо фильтрующими грунтами, имеют ковровое инженерное благоустройство, поверхностный почвенный слой запечатан водонепроницаемыми покрытиями. Компенсационные мероприятия здесь должны быть направлены на увеличение времени цикла стока. Они разрабатываются с целью максимального задержания выпавших осадков на территории и в то

же время они должны исключать поднятие уровня грунтовых вод и развитие техногенного подтопления.



Рисунок 2.1 – Благоустройство типа «B-minus»



Рисунок 2.2 – Благоустройство типа «B-0»



Рисунок 2.3 – Благоустройство типа «B-plus»

Для отнесения проектируемого техногенного ландшафта к одной из выше обозначенных классификационных групп необходима соответствующая методическая база, которая позволила бы не только отнести ландшафт к тому или иному типу благоустройства, но и выдать рекомендации по набору и объёму компенсационных мероприятий.

2.2. Математическое описание водобалансового состояния техногенного ландшафта

Для разработки выше обозначенной методической базы следует в первую очередь оценить исходное состояние ландшафта или существующее благоустройство территории, подвергаемой застройке или реконструкции.

На водный баланс территории согласно [10, 97-100] влияют естественные и техногенные, временные и постоянные факторы (таблица 2.1). К естественным факторам относятся следующие:

- природно-климатические условия, в том числе интенсивность атмосферных осадков;
- геоморфологические условия площадки, включая существующую схему поверхностного водоотвода и величину уклонов поверхности;
- гидрогеологические условия площадки – фильтрующие свойства грунтов, установившийся уровень грунтовых вод, природная влажность грунтов, наличие бокового питания и оттока грунтовых вод;
- количественный и видовой состав растительности (деревьев, кустарников, травяного покрова), влияющие на транспирацию и эвапотранспирацию.

К техногенным факторам относятся:

- существующее благоустройство территории – наличие водонепроницаемых и слабоводопроницаемых поверхностей (крыши, асфальт, грунтовые покрытия и т.п.), исключающих или затрудняющих инфильтрацию атмосферных осадков в грунт, а также уменьшение испарения под зданиями, сооружениями, дорожными покрытиями, отмостками и т.п.;

- площадь, тип и этажность застройки;
- инженерное оборудование территории, а именно водонесущие коммуникации, утечки из которых приводят к техногенному подтоплению территории;
- искусственное дренирование территории, обеспечивающее отбор и отвод грунтовых вод за пределы защищаемой территории, в том числе водопонижение, связанное со строительством и эксплуатацией метрополитена и других подземных сооружений;
- водозабор грунтовых вод для нужд водоснабжения, при котором создаются локальные воронки депрессии;
- накопление поверхностных вод в грунтах обратной засыпки прифундаментных пазух зданий и сооружений, траншей и др.;
- барражный эффект фундаментов глубокого заложения – ухудшение оттока грунтовых вод;
- инфильтрация воды при таянии скоплений снега и поливах зелёных насаждений.

Таблица 2.1 – Факторы, влияющие на водный баланс городской территории

Естественные		Техногенные
Постоянные	<ul style="list-style-type: none"> - геоморфологические условия площадки; - гидрогеологические условия площадки 	<ul style="list-style-type: none"> - существующее благоустройство территории; - площадь, тип и этажность застройки; - инженерное оборудование территории; - водозабор грунтовых вод для нужд водоснабжения; - барражный эффект фундаментов глубокого заложения
Переменные	<ul style="list-style-type: none"> - природно-климатические условия; - количественный и видовой состав растительности 	<ul style="list-style-type: none"> - искусственное дренирование территории; - накопление поверхностных вод в грунтах обратной засыпки прифундаментных пазух зданий и сооружений, траншей и др.; - инфильтрация воды при таянии скоплений снега и поливах зелёных насаждений

На основе вышеперечисленных факторов и [63, 65, 101-103] предложена описательная идеальная модель состояния водного баланса застроенной территории (рисунок 2.4).

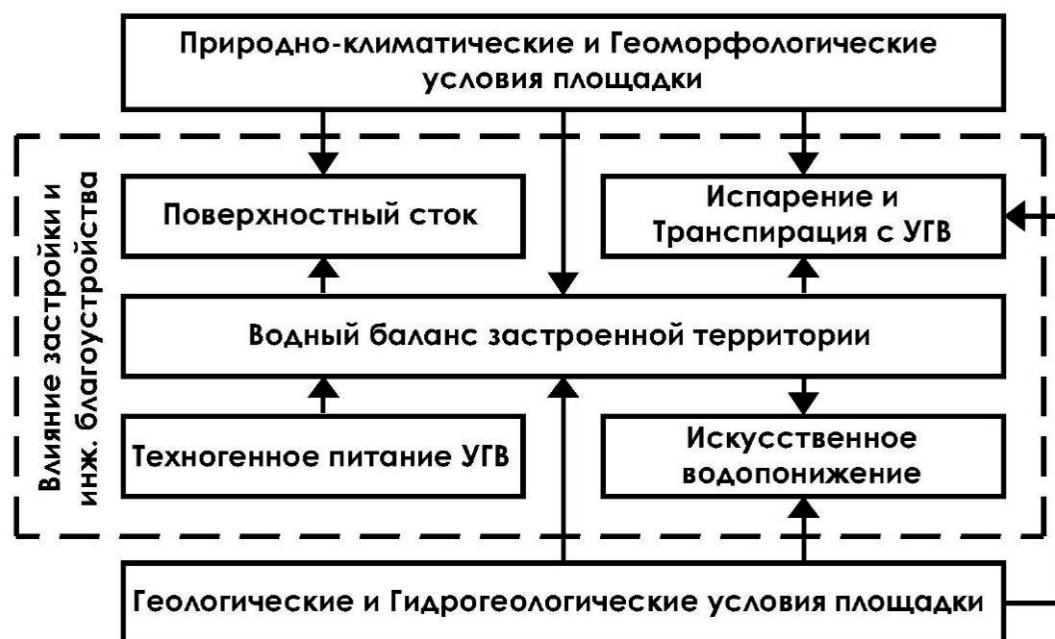


Рисунок 2.4 – Дескриптивная модель состояния водного баланса городской территории

В настоящее время практикуются различные способы оценки водного баланса ландшафтов и прогнозирования уровня грунтовых вод. Эти способы изложены в [12, 86, 88, 97, 104, 105]. Сюда относятся метод аналогий, метод моделирования, аналитические и численные методы прогноза, а также методы расчёта водного режима или балансовый метод.

Для моделирования возможных состояний водного баланса застроенной территории были проанализированы различные существующие математические описания водобалансового состояния ландшафта. Так, например, согласно [97] величина суммарного инфильтрационного питания грунтовых вод рассчитывается по формуле:

$$\omega = \omega_{ao} + \omega_{техн} - U, \quad (2.1)$$

где ω_{ao} – инфильтрация атмосферных осадков до УГВ;

$\omega_{техн}$ – техногенная инфильтрация;

U – суммарный расход грунтовых вод на испарение и транспирацию.

Согласно [86] величина инфильтрационного питания на основе водобалансовых расчетов на застраиваемых и застроенных территориях или на отдельных участках может быть определена по формуле:

$$\omega = \alpha \omega_g - u + \beta W / F, \quad (2.2)$$

где α – коэффициент поверхностного стока;

ω_g – интенсивность атмосферных осадков, м/сут;

u – испарение с поверхности грунтовых вод, м/сут;

W – суточное водопотребление на рассматриваемой территории, м³/сут;

F – площадь этой территории, м²;

β – коэффициент потерь воды из водонесущих коммуникаций.

Согласно СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» техногенное изменение уровня подземных вод на застраиваемой территории зависит от функционального назначения территории: промышленные зоны, селитебные зоны с плотной, смешанной и низкоплотной застройкой, территории, занятые парками и лесами, и т.п. и характеризуется величиной инфильтрационного питания грунтовой толщи W , мм/год, которая определяется по формуле:

$$W = (1 - m) W_{nat} + W_{tec}, \quad (2.3)$$

где m – степень закрытости территории непроницаемыми покрытиями (асфальт, крыши и т.д.);

W_{nat} – инфильтрационное питание, обусловленное естественным фоном инфильтрации, мм/год;

W_{tec} – инфильтрационное питание, обусловленное техногенными факторами, мм/год.

Инфильтрационное питание W_{tec} зависит от предполагаемого водопотребления на застраиваемой территории.

Согласно [10] в селитебных зонах баланс грунтовых вод можно представить следующим уравнением:

$$\Delta W = Oc\lambda + \omega + (P - O)\chi \pm \varepsilon\chi\psi \pm g\chi - D, \quad (2.4)$$

где ΔW – изменение запасов воды на рассматриваемом балансовом участке;

Oc – количество осадков;

λ – коэффициент аккумуляции осадков грунтовыми водами;

ω – дополнительная инфильтрация;

Π – сторонний (боковой) приток воды на балансовый участок;

O – сторонний отток воды от него;

χ – коэффициент изменения расхода за счёт изменения параметров потока грунтовых вод при подпоре, барраже и пр.;

ε – водообмен между грунтовыми водами и зоной аэрации;

ψ – коэффициент изменения водообмена за счёт покрытия поверхности;

g – приток воды из лежащих ниже водоносных горизонтов или отток её в них;

D – отток воды в водозаборы и дренажи.

Согласно [12] уравнение водного баланса имеет следующий вид:

$$W_n + W_o + Q_n + P_e = Q_o + P_n + I + T + B + D + \Delta V, \quad (2.5)$$

где W_n – суммарная инфильтрация за счёт утечек из подземных коммуникаций, впитывания атмосферных осадков на участках перераспределения поверхностного стока и поливных вод;

W_o – инфильтрация осадков на участках с ненарушенным при застройке поверхностным стоком;

Q_n – боковой приток на рассматриваемую площадь с соседней территории;

P_e – приток из нижележащего водоносного горизонта;

Q_o – боковой отток с рассматриваемой площади на соседнюю территорию;

P_n – отток в нижележащий водоносный горизонт;

I – испарение грунтовых вод;

T – транспирация грунтовых вод;

B – расход на водоснабжение;

D – расход в дренажи;

ΔV – изменение статических запасов грунтовых вод.

Баланс подземных вод для конкретной исследуемой площади может включать не все составляющие уравнения. Например, для естественных условий нет необходимости учитывать величину W_n , так как в условиях современного города

с почти сплошным покрытием уличных пролетов и площадей оно равно W_0 . В случае залегания грунтовых вод на большой глубине (за пределами зоны испарения и транспирации) исключаются члены I и T , при отсутствии водозабора из водоносного горизонта – B и т.д. Для нарушенных условий при необходимости добавляются значения $W_{\text{п}}$ и B .

Таким образом, при балансовых расчётах во внимание принимаются те составляющие уравнения, которые фактически влияют на водный баланс изучаемой территории. Набор таких составляющих определяется при качественном анализе причин подтопления застроенных площадей, а также изучении их геологического строения и гидрогеологических условий [12].

Большинство явлений, управляющих режимом гравитационных масс воды в пространстве и во времени, происходит в зоне аэрации, т.е. в зоне, расположенной между поверхностью земли и зеркалом грунтовых вод. Атмосферные осадки, основной источник питания грунтовых вод, выпадают на верхнюю границу этой зоны, земную поверхность, и просачиваются в грунт до горизонта грунтовых вод. Через эту же границу может происходить и испарение воды из грунтов. Тепловой и водный режимы зоны аэрации непостоянны. Процессы, протекающие здесь, имеют гораздо более сложный характер по сравнению с процессами, протекающими ниже уровня грунтовых вод. Отчасти это объясняется тем, что «влияние внешних факторов происходит в зоне аэрации с большей интенсивностью и с меньшим запаздыванием во времени, и отчасти тем, что система и характер сил, действующих на частицы воды в этой зоне, более разнообразны, что в первую очередь является следствием большего объёмного содержания воздуха в порах грунтов» [105].

Зона активного водообмена на застроенных территориях может включать несколько водоносных горизонтов. Установлено, что для практических целей достаточно составить баланс двух первых от поверхности горизонтов [12].

На основе предложенной модели водного баланса застроенной территории (рисунок 2.4), учитывающей изменение водного режима в зоне активного водо-

обмена или в зоне аэрации, принято следующее уравнение водного баланса (рисунок 2.5):

$$(P - S) + E_{техн} = W + (U + T) + D, \quad (2.6)$$

где P – среднегодовое количество атмосферных осадков;

S – величина поверхностного стока;

$E_{техн}$ – величина техногенной инфильтрации за счёт утечек из подземных водонесущих коммуникаций и поливных вод;

W – инфильтрационная ёмкость грунтов;

U – расход влаги на испарение;

T – расход влаги на транспирацию;

D – расход грунтовых вод в дренажи.

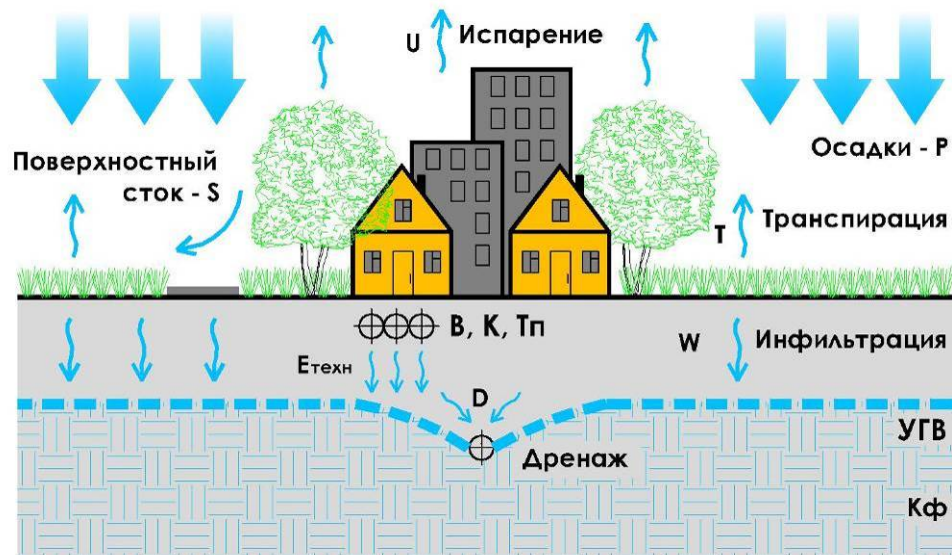


Рисунок 2.5 – Схема к расчёту уравнения водного баланса

При этом боковой приток грунтовых вод на рассматриваемую площадь с соседней территории принимается равным боковому оттоку грунтовых вод с рассматриваемой площади на соседнюю территорию. В то же время при необходимости и при более сложных условиях в уравнении водного баланса могут быть учтены дополнительные составляющие. Принятое уравнение учитывает водобалансовое состояние массовой жилой застройки в современных российских городах.

Для прогноза водобалансового состояния ландшафта и проектирования компенсационных мероприятий на застроенных территориях необходима количе-

ственная оценка факторов, определяющих нарушение природного водного баланса. Но такая оценка возможна только в случае корректного установления всех составляющих водного баланса [12]. Ниже приводится краткая характеристика и принятый метод расчёта каждой из величин выведенного уравнения водного баланса.

Все составляющие уравнения водного баланса представлены в м/сут. Таким образом моделируются абсолютные значения поступления/расхода влаги на единицу/с единицы поверхности в единицу времени.

Среднегодовое количество атмосферных осадков (P) принимается по данным ближайшей гидрометеорологической станции для теплого периода года. При отсутствии таких сведений на практике могут быть использованы СП 131.13330.2012 «Строительная климатология» в зависимости от географического расположения исследуемой площадки.

Величина поверхностного стока (S) зависит от количества атмосферных осадков и коэффициента поверхностного стока и может быть рассчитана по формуле [106]:

$$S = P \times k, \quad (2.7)$$

где k – усредненный коэффициент поверхностного стока, который определяется как усредненное значение частных коэффициентов поверхностного стока в зависимости от типа и баланса покрытий и рассчитывается по формуле:

$$k = (k_1 f_1 + k_2 f_2 + \dots + k_n f_n) / F, \quad (2.8)$$

где k_1, k_2, k_n – частные коэффициенты поверхностного стока отдельных участков территории;

f_1, f_2, f_n – площади этих участков в пределах изучаемой территории общей площадью F .

При использовании данных о стоке с учётом видов застройки общий коэффициент стока всей рассматриваемой территории рассчитывается по формуле:

$$k = k_1 s_1 + k_2 s_2 + \dots + k_n s_n, \quad (2.9)$$

где k_1, k_2, \dots, k_n – значения коэффициентов стока для каждого типа покрытия;

S_1, S_2, \dots, S_n – доля площади каждого типа покрытия по отношению к общей площади территории.

Таким образом, разность $(P - S)$ представляет собой *величину атмосферных осадков, задерживающихся на исследуемой территории.*

Интенсивность техногенной инфильтрации за счёт утечек из подземных водонесущих коммуникаций и поливных вод ($E_{техн}$). Инфильтрация на застроенных территориях имеет незакономерный по площади, точечный характер. Она возникает в основном за счёт утечек воды из сетей водопровода, канализации и теплоснабжения, в местах сосредоточения жидких и твердых атмосферных осадков, а также на участках неумеренного полива декоративной растительности [107].

Непосредственные замеры утечек из подземных коммуникаций – на сегодняшний день практически невыполнимая задача. Для замеров утечек из водонесущих сетей на территории крупного города потребовалась бы установка тысяч водомеров и организация специальной дорогостоящей службы для их эксплуатации и ремонта [12].

В связи с этим инфильтрация за счёт утечек была определена в работе по косвенным признакам в зависимости от протяженности водонесущих коммуникаций и/или как часть общего расхода водоподачи. Согласно СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» потери водопотребления, участвующие в формировании питания подземных вод, на территории жилых районов составляют в среднем 3,6 % суммарного водопотребления. Для промышленных зон эти потери зависят от характера водопотребления производства и продолжительности его эксплуатации и составляют от 4 до 6 % от общего расхода воды.

Согласно [86] потери воды из водонесущих коммуникаций составляют 5–10 % общего водопотребления по территории. В соответствии с этим коэффициент потерь из водонесущих коммуникаций колеблется в пределах 0,05–0,10.

В связи с тем, что способ определения инфильтрации за счёт утечек в зависимости от протяженности водонесущих коммуникаций представляется предпочтительным, так как учитываются параметры водоводов (материал трубопроводов, срок их службы, усредненные значения удельных утечек и др.), техногенная

инфильтрация в уравнении водного баланса рассчитывалась по аналогии с известной методикой и данным, полученным для г. Москвы, изложенным в [97].

Основными составляющими техногенной инфильтрации ($E_{техн}$) являются утечки из водопровода ($\omega_в$), канализации ($\omega_к$), теплосетей ($\omega_т$) и инфильтрация воды при поливе зеленых насаждений (ω_n):

$$E_{техн} = \omega_в + \omega_к + \omega_т + \omega_n \quad (2.10)$$

При этом расчёт составляющих инфильтрационного питания выполняется по формулам:

$$\omega_в = q_в L_в / F; \quad \omega_к = q_к L_к / F; \quad \omega_т = \gamma q_т L_т / F, \quad (2.11)$$

где $L_в$, $L_к$, $L_т$ – длина (м) внешних сетей водопровода, канализации, тепло-трасс на исследуемой территории площадью F (м²);

$q_в$, $q_к$, $q_т$ – удельные утечки соответствующего вида коммуникаций (м³/сут на 1 п.м);

γ – коэффициент продолжительности отопительного сезона в течение года.

Техногенная инфильтрация для индивидуальной застройки характеризуется инфильтрационным питанием, обусловленным поступлением в грунты вод при поливе зелёных насаждений (ω_n).

Инфильтрационная ёмкость грунтов (W). Наиболее точными для определения интенсивности инфильтрации грунтов являются лизиметрические методы. Однако получение данных по лизиметрам непосредственно на участке связано с большими затратами средств и времени [12]. Поэтому для определения величины инфильтрации в рамках данного моделирования был использован расчётный метод, основанный на материалах уже имеющихся наблюдений. Инфильтрационная ёмкость грунтов рассчитана по формуле:

$$W = \omega \times (f_1 + f_2 + \dots + f_n) / F \quad \text{или} \quad (2.12)$$

$$W = \omega \times (s_1 + s_2 + \dots + s_n), \quad (2.13)$$

где ω – интенсивность инфильтрации грунтов, по таблице 4 приложения 4 [108];

f_1, f_2, f_n – площади участков с водопроницаемыми покрытиями в пределах изучаемой территории общей площадью F ;

S_1, S_2, \dots, S_n – доля площади каждого типа водопроницаемого покрытия по отношению к общей площади территории.

Испарение (U) и Транспирация (T). Потери воды из зоны аэрации определяются отчасти физическими, отчасти биологическими процессами. Поэтому с целью совершенствования наблюдений этих процессов и обеспечения лучшего понимания их течения были выделены следующие типы испарения: испарение со свободной водной поверхности или с лишенных растительности земель; транспирация (испарение растениями); эвапотранспирация (испарение растительностью и с поверхности почв); потенциальная эвапотранспирация (верхний предел испарения в данных условиях).

Используемые в настоящее время методы определения испарения можно разделить на три основные группы [105]:

- обобщение результатов наблюдений, выполненных при помощи небольших приборов (моделей);
- расчёты, основанные на исследованиях водного баланса;
- использование теоретических формул.

Испарение грунтовых вод, так же как инфильтрация осадков, в основном определяется для естественных условий, т.е. на площадках перспективного строительства или на уже застроенных территориях с использованием исходных данных, характеризующих обстановку, существовавшую до начала строительства. Можно рассчитать испарение и для застроенных площадей, если обозначить на карте участки, не занятые строениями, незаасфальтированные и не засаженные растительностью [12].

Основными факторами, определяющими суммарное испарение, являются:

- климатические условия (температура и дефицит влажности воздуха);
- геолого-гидрогеологические условия (литологическое строение, мощность и характер залегания грунтов, глубина залегания уровня грунтовых вод);
- характер техногенного обустройства территории (плотность застройки зданиями и сооружениями, площадь асфальтированных поверхностей и др.);
- площади, занятые растительностью, и её характер.

Климатические факторы определяют преимущественно испарение с поверхности грунта, в результате чего осушается верхняя часть зоны аэрации и создается вертикальное перемещение влаги из зоны полного насыщения к испаряющей поверхности. Этот вертикальный поток влаги вследствие испарения практически прекращается с некоторой критической глубины [109].

Вследствие застройки территории, асфальтирования улиц, проездов и площадок значительно уменьшается площадь открытой поверхности грунта. Возникает так называемый экранирующий эффект застройки, который в некоторых случаях может привести к практически полному прекращению испарения грунтовых вод.

Кроме того, на застроенных территориях зачастую наблюдается затенение грунтовых поверхностей зданиями, навесами и пр., что приводит к уменьшению испарения влаги из грунтов по сравнению с естественными условиями. При этом по [88] атмосферные осадки целиком расходуются на испарение и инфильтрацию только в том случае, если они выпадают на сухой грунт при малоинтенсивных дождях. Увлажнение грунта препятствует инфильтрации и создает условия для интенсивного формирования поверхностного стока.

Наряду с расходом грунтовой влаги под влиянием чисто физического испарения, на участках, занятых растительностью, наблюдается расход влаги на транспирацию, который может значительно превышать испарение. В некоторых случаях транспирация влаги растениями используется даже в качестве эффективного способа понижения уровня грунтовых вод – так называемый биодренаж.

Суммарное испарение (физическое испарение и транспирация) рассчитывается по формуле [97]:

$$U + T = U_0 K_{г.л.} K_{э} K_p, \quad (2.14)$$

где U_0 – испаряемость;

$K_{г.л.}$ – поправочный коэффициент на глубину залегания уровня грунтовых вод и литологическое строение зоны аэрации;

K_3 – коэффициент экранирующего эффекта, отражающий степень уменьшения испаряемости непроницаемыми для влаги покрытиями – асфальт, бетонирование и др.;

K_p – коэффициент, учитывающий расход грунтовых вод на транспирацию растительностью.

Коэффициент, учитывающий расход грунтовых вод на транспирацию растительностью, рассчитывается по формуле:

$$K_p = 1 + 0,45 \times s_1 / (s_1 + s_2 + \dots + s_n), \quad (2.15)$$

где s_1 – доля площади, занятая древесно-кустарниковой растительностью, по отношению к общей площади территории;

s_2, \dots, s_n – доля площади остальных типов водопроницаемых покрытий по отношению к общей площади территории.

В формуле (2.15) учитывается, что в среднем расход на эвапотранспирацию (суммарное испарение и транспирация) с площадей, занятых древесно-кустарниковой растительностью, превышает на 45 % испарение с площадей, лишенных растительности [97].

Расход грунтовых вод в дренажи (D). Решение о необходимости устройства системы искусственного водопонижения на застраиваемой территории принимается в зависимости от глубины УГВ относительно глубины освоения территории. Мероприятия по водопонижению в рамках инженерной подготовки территории выполняются в случае превышения уровня грунтовых вод над заглубленными частями зданий и сооружений, а также превышения УГВ относительно зоны аэрации в зависимости от функционального назначения территории.

Ввиду многообразия типов дренажных систем и уникальности гидрогеологических условий площадок строительства и застройки производительность дренажа устанавливается путём контрольных замеров его расхода либо гидрогеологических расчётов в зависимости от типа дренажной системы и гидрогеологической характеристики площадки по известным эмпирическим формулам [10, 13, 56, 110].

Принципы проектирования экологически оправданного инженерного благоустройства, учитывающие условие максимального задержания атмосферных осадков в месте их выпадения (приближение проектного ландшафта к естественному состоянию) и создания устойчивого равновесного водного баланса застроенной территории, можно выразить следующей логико-математической моделью оценки состояния водного баланса застроенной территории:

$$\left\{ \begin{array}{l} E_{техн} \rightarrow 0 \\ S \rightarrow 0 \\ (P - S) + E_{техн} = W + (U + T) + D \end{array} \right. \quad (2.16)$$

На последующем этапе исследования поставлена задача разработки и выявления критериев и определения пределов устойчивости (выносливости) среды. Иными словами, следует ответить на вопрос, какой объём техногенного вмешательства в природное состояние ландшафта не окажет существенного влияния, а когда необходимо обязательно вмешиваться и применять компенсационные мероприятия. Разработать градостроительный инструмент, с помощью которого можно оценить, произошло ли изменение водного баланса ландшафта в результате освоения и застройки или нет, определить, благоприятное это изменение или нет. И в случае необходимости выдать рекомендации по типу и объёму компенсационных мероприятий, приближающих водобалансовое состояние застроенного ландшафта к естественному. Отметим, что устройство специальных мероприятий требует дополнительных затрат, которые и должны быть обоснованы. Цель дальнейшего исследования – найти критерии экологической оценки градостроительного проекта по показателю «техногенные изменения стока».

2.3. Индекс водного баланса ландшафта

Практические методы, с помощью которых инженеры-экологи и градостроители смогли бы оценить и как бы «настроить» проектируемое благоустройство жилого образования на характерный для данной территории водный баланс техногенного ландшафта, были разработаны с учётом в равной мере как природных характеристик, так и техногенного влияния сложившегося окружения. Разработка метода оценки площадки по признаку принадлежности её к тому или иному типу с точки зрения водного баланса техногенного ландшафта исходит из принятого выше уравнения водного баланса.

Все параметры уравнения водного баланса можно отнести к питающим и разгрузочным, а отношение этих параметров может характеризовать «водобалансовую ёмкость» ландшафта, которая, в свою очередь, даёт понимание – «справляется» ли исследуемый ландшафт с объёмом поступающих вод, либо происходит перенасыщение или же, наоборот, иссушение территории [111].

На основе вышесказанного, для анализа водного баланса территории и выявления типа проектируемого благоустройства, а также отнесения инженерного благоустройства территории к тому или иному типу, в результате преобразования уравнения водного баланса автором был введён показатель, названный **индекс водного баланса ландшафта** – далее просто **«Index»**.

Этот показатель характеризует способность ландшафта «поглощать» выпавшие на этой территории осадки с учётом техногенного питания грунтовых вод. Количественно эту величину, исходя из уравнения водного баланса, предлагается определять отношением «условного объёма питания» ландшафта – E к «условному потенциалу поглощения» – Q , которые соответственно равны сумме питающих $((P - S) + E_{техн})$ и поглощающих $(W + (U + T) + D)$ составляющих:

$$Index = E / Q. \quad (2.17)$$

По типу происхождения факторы могут быть, как уже говорилось, природного и техногенного характера. Исследование техногенных характеристик

окружающей городской среды представляется автору наиболее актуальной задачей.

Индекс водного баланса ландшафта характеризует водобалансовую ёмкость ландшафта и является инструментом, позволяющим сделать прогноз состояния проектируемого техногенного ландшафта с точки зрения водного баланса. Значение величины индекса водного баланса характеризует водобалансовое состояние ландшафта, а значит, может служить практическим инструментом для проведения анализа и выявления типа благоустройства по предложенной автором классификации: задерживающий воду тип с тенденцией на переувлажнение; нормальный; отводящий воду с участка с тенденцией на иссушение, а также для определения объёма компенсационных мероприятий [111]. Кроме того, индекс водного баланса ландшафта задуман в качестве критерия, который говорит о необходимости включения в состав благоустройства компенсационных мероприятий или отсутствии этой необходимости. После анализа исходного («до») водобалансового состояния ландшафта и состояния «после» освоения или реконструкции с помощью *Index* можно определить необходимый объём компенсационных мероприятий (методика расчёта подробно рассмотрена в четвертой главе).

Таким образом, предлагаются следующие критериальные рамки:

- при $Index > 1$ условный объём питания превосходит условный потенциал поглощения, инженерное благоустройство относится к типу «B-minus» – ландшафт с тенденцией на перенасыщение (подтопление);
- при $Index = 1$ тип благоустройства относится к «B-0» – стабильное состояние ландшафта;
- при $Index < 1$ условный потенциал поглощения превосходит условный объём питания, инженерное благоустройство разрабатывается по типу «B-plus» – ландшафт с тенденцией на иссушение.

Соответственно, возможны следующие варианты влияния застройки на исходный ландшафт: нейтральное, благоприятное и неблагоприятное. Нейтральным является состояние, когда индекс водного баланса ландшафта остаётся неизменным. При этом состояние ландшафта в естественных условиях принимается

сбалансированным и наиболее благоприятным, т.е. считается, что ландшафт находится в водобалансовом равновесии. В условиях же реконструкции или уплотнения существующей застройки возможно улучшение водобалансового состояния в результате, например, сокращения количества поверхности земли, «зачеканенной» в асфальт, или увеличения площадей, занятых зелёными насаждениями.

Помимо расчёта показателя *Index* предложено выполнять сравнение абсолютных показателей условного потенциала поглощения и условного объёма питания для ландшафта в естественном состоянии и после освоения. Значения условного потенциала поглощения и условного объёма питания, наиболее приближенные к природному состоянию, соответствуют наиболее благоприятному состоянию ландшафта. Значит, величины условного объёма питания ($E_{есм}$) и условного потенциала поглощения ($P_{есм}$) в естественном состоянии будут «эталонными» значениями для данного ландшафта, а использование компенсационных мероприятий должно быть направлено на достижение этих значений.

Логико-математическое описание допустимых пределов изменений окружающей среды основано на [11], где для зоны южной тайги естественные экологические зоны должны занимать 50 %, а значит, диапазон допустимых отклонений от естественного состояния среды в настоящем исследовании на примере г. Екатеринбурга (как объекта исследования) принят в размере 50 %. Таким образом, принято допущение: если проектные значения условного объёма питания и условного потенциала поглощения находятся в пределах пятидесятипроцентного диапазона, то проектируемое инженерное благоустройство не нарушает естественный водный баланс ландшафта и может быть рекомендовано к реализации. В случае, если проектные значения E и Q не укладываются в этот диапазон, то на первом этапе проектирования следует принимать решение о необходимости пересмотра мероприятий инженерной подготовки территории в части устройства водонепроницаемых покрытий с целью их минимизации, а также по исключению влияния техногенных факторов на водный баланс ландшафта. На втором же этапе проектирования, на основе рассчитанного *Index*, разрабатываются рекомендации

по устройству компенсационных мероприятий с учётом архитектурно-планировочных возможностей проектируемого благоустройства.

Учитывая предложенный показатель «индекс водного баланса ландшафта», а также беря во внимание сведения о допустимых пределах изменения окружающей среды, логико-математическая модель оценки водного баланса застроенной территории приобретает следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} E_{техн} \rightarrow 0 \\ S \rightarrow 0 \\ E = (P - S) + E_{техн} \\ Q = W + (U + T) + D \\ Index = E / Q \rightarrow 1 \\ 0,5 E_{есм} \leq E \leq 1,5 E_{есм} \\ 0,5 Q_{есм} \leq Q \leq 1,5 Q_{есм} \end{array} \right. \quad (2.18)$$

Предложенный автором показатель «индекс водного баланса ландшафта» определяет критерии для разработки компенсационных мероприятий индивидуально для каждой площадки в зависимости от климатических, геоморфологических, гидрогеологических и экологических условий, а также характеристик сложившегося окружения. Санитарно-гигиенические требования, предъявляемые к той или иной территории, остаются во всех случаях подлежащими исполнению. Например, вода с крыш является условно чистой и должна оставаться на территории, вода с проездов, смешанная с нефтепродуктами, – отводиться на очистные сооружения. На основании расчёта *Index* могут быть даны рекомендации по оптимальному количественному соотношению проектируемых водопроницаемых и водонепроницаемых поверхностей, а в случае необходимости, то и по объёму специальных инфильтрующих или испаряющих компенсационных устройств. При этом методы и сами компенсационные конструкции должны подчиняться архитектурной концепции и планировке, гармонично интегрироваться в инженерное благоустройство и создавать в жилой среде определённую природную эстетику.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2

1. На основе анализа отечественного и зарубежного опыта проектирования инженерного благоустройства застраиваемых территорий с учётом факторов, влияющих на формирование цикла стока, разработана следующая типология инженерного благоустройства:
 - благоустройство типа: «*B-minus*» для ландшафтов с тенденцией на перенасыщение (подтопление);
 - благоустройство типа: «*B-0*» для ландшафтов с тенденцией на стабильное состояние;
 - благоустройство типа: «*B-plus*» для ландшафтов с тенденцией на иссушение.
2. Разработана логико-математическая модель состояния водного баланса городской территории, в основе которой лежит предложенный показатель «индекс водного баланса ландшафта», учитывающая влияние и взаимосвязь природных и техногенных факторов, а также допустимые пределы антропогенного изменения окружающей среды.
3. Для определения водного состояния ландшафта и тенденции его изменения при застройке и освоении разработан новый показатель: «индекс водного баланса ландшафта» – *Index*, представленный отношением «условного объёма питания» ландшафта к «условному потенциалу поглощения».
 - 3.1. В случае, когда условный объём питания равен условному потенциалу поглощения, а *Index* равен единице, ландшафт имеет стабильное состояние, находится в водобалансовом равновесии и соответствует типу благоустройства «*B-0*».
 - 3.2. При значениях *Index* более единицы на территорию поступает больше влаги, чем ландшафт может «поглотить», а значит, имеет тенденцию на перенасыщение и относится к типу благоустройства «*B-minus*». В этом случае задачей является приведение ландшафта в равновесное состояние путём увеличения его водобалансовой ёмкости и снижение риска разви-

тия подтопления. Могут быть применены компенсационные устройства, задерживающие атмосферные осадки и обеспечивающие охлаждающее испарение с поверхностей без инфильтрации воды в грунт.

- 3.3. При значениях *Index* менее единицы условный потенциал поглощения превышает условный объём питания, а ландшафт имеет тенденцию на иссушение, такое инженерное благоустройство относится к типу «B-plus». В этом случае необходимо применять компенсационные мероприятия задерживающего типа, причём не только испаряющие, но и инфильтрующие атмосферные осадки в грунт.
4. Выполненный на основе логико-математической модели анализ водного баланса ландшафта в исходном состоянии и состоянии после застройки (проектируемое благоустройство) даёт представление о потенциальной степени изменения водного баланса в результате строительства, а также о степени влияния проектируемой застройки на этот баланс и, следовательно, позволяет сделать вывод о целесообразности и составе компенсационных мероприятий.

ГЛАВА 3. ТЕХНОГЕННОЕ ВЛИЯНИЕ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ЗАСТРОЙКИ НА ВОДНЫЙ БАЛАНС ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА

При уплотнении существующей застройки или новом строительстве вблизи существующих градостроительных объектов важно знать, какое влияние оказывает сложившееся градостроительное окружение на водный баланс площадки нового строительства. Для проектирования компенсационных мероприятий интерес представляют ситуации, в которых находится водный баланс территории существующей застройки перед новым строительством. В качестве постановки исследовательской задачи потребовалось охарактеризовать ситуационные схемы и ответить на вопрос, каковы качественные и количественные составляющие этого влияния. В силу малоизученности проблемы водного баланса существующих техногенных ландшафтов вообще и их влияния на вновь осваиваемые территории в частности, а также отсутствия достаточного количества соответствующих эмпирических измерений исследование потребовало формализации ряда процессов, протекающих в техногенном ландшафте, и использования данных, полученных в результате решения смежных научно-практических задач.

3.1. Техногенные составляющие водного баланса территорий

Поиск техногенных факторов, влияющих на водный баланс территорий, был проведен путём аналитической обработки данных, полученных в результате: исследования литературных источников; натурного обследования площадок (сложившейся ситуации) в жилых районах г. Екатеринбурга (как объекта исследования), а также анализа инженерных изысканий, выполненных на территории города в разные годы.

Основные причины развития процесса техногенного подтопления городских территорий рассмотрены в разделе 1.1. В результате анализа и последующего обобщения были установлены два наиболее весомых техногенных фактора, влияющих на водный баланс ландшафта, а значит, и на величину принятого индекса водного баланса ландшафта, *Index*:

- фактор нарушения естественного поверхностного стока в результате вертикальной планировки территории, устройства систем организованного поверхностного водоотвода, устройства искусственных покрытий, в том числе «зачеканивания» дневной поверхности земли водонепроницаемыми покрытиями, т.е. техногенное влияние на поверхностный сток;
- фактор, влияющий на подземный сток, т.е. нарушение естественных гидрогеологических условий в результате освоения подземного пространства и устройства инженерных сетей, здесь в большей степени влияние оказывают утечки из водонесущих коммуникаций.

3.2. Типология массовой жилой застройки г. Екатеринбурга

С целью дальнейшей формализации задачи и моделирования количественных показателей техногенных составляющих индекса водного баланса ландшафта были формально выделены четыре исторически сложившихся характерных для российских городов и широко представленных в городе Екатеринбурге типа жилой застройки. За основу была взята историческая типология жилой застройки, предложенная архитектором С.М. Лыжиным [112, 113], с уточнением планировочных показателей по [5, 114], а также [88] в части особенностей формирования подземных вод на застраиваемых территориях:

- индивидуальная и малоэтажная застройка разных периодов;
- пятиэтажная застройка «первого поколения» («хрущевского» периода) 1960–70-х гг.;
- многоэтажные (9–16) панельные индустриальные дома «второго и третьего поколения» 1980-х и начала 1990-х гг.;
- современная многоэтажная застройка начиная с конца 1990-х гг.

В настоящей работе для исследования массовой жилой застройки были выделены жилые массивы общей площадью не менее 5 га (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Схема зонирования территории г. Екатеринбурга по морфотипам застройки

Дальнейшее исследование техногенных факторов основано на данной типологии застройки. В процессе формализации были исключены из рассмотрения некоторые частные случаи. Так, ряд застроенных в разные периоды жилых территорий в предложенной классификации в отдельные морфотипы не выделены, что связано либо с отсутствием в то время «массового» индустриального подхода к строительству, либо с тем, что в результате градостроительного развития и рекон-

струкции территорий изменилось функциональное назначение объектов, либо в настоящий момент эти территории не являются жилыми и не могут быть рассмотрены в качестве объектов исследования:

- жилые дома довоенного периода 1920–30-х гг. в основном расположены в центре города. В настоящее время в своём большинстве эти здания являются памятниками архитектуры эпохи конструктивизма и изменили своё функциональное назначение – перепрофилированы под административные здания, офисы, гостиницы, общественные центры и т.п.;

- жилищное строительство 40-х гг. XX в., важную роль в котором сыграла Великая Отечественная война. К данному периоду жилищного строительства относятся в основном жилые 2-этажные дома и дома барачного типа. В настоящее время жилой фонд этого периода находится в аварийном состоянии, в связи с чем на этих территориях идёт процесс сноса и нового строительства;

- жилые дома 50-х гг. XX в., так называемые «сталинки», отдельные градостроительные ансамбли, каждый индивидуальной планировки с большим количеством общественных зданий. 4-5-этажные здания были построены на магистральных улицах города в центральных частях крупных планировочных районов. Данный период времени характеризуется также массовым строительством 2-этажных жилых домов в системе квартальной застройки вблизи промышленных районов (Уралмаш, Эльмаш) для обеспечения жилищными условиями трудящихся этих предприятий;

- застройка середины и конца 1990-х гг. ввиду общего экономического спада не являлась массовой, в основном происходило точечное строительство в центральных районах города, в районах с наличием развитой инфраструктуры.

Первый тип застройки (рисунок 3.2). К условно выделенному первому морфотипу застройки относится индивидуальная и малоэтажная застройка разных периодов, частные жилые дома с приусадебными участками, построенные на территории г. Екатеринбурга в разные годы. Это в основном деревянные дома для проживания одной семьи. В пределах рассматриваемой территории г. Екатеринбурга (рисунок 3.1) площадь данного типа застройки составила 675 га. Месторас-

положение: Юго-Западный район, район Семь Ключей, Верх-Исетский район, район оз. Шарташ. Сегодня развитие индивидуальной малоэтажной застройки происходит в основном в области загородного и дачного строительства в районах Широкая Речка, пос. Карасьезерский, Краснолесье.

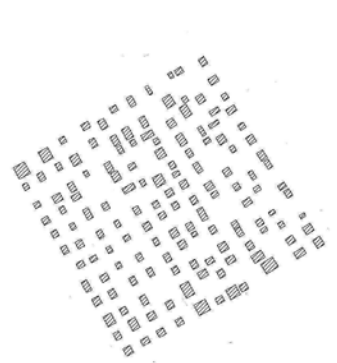


Рисунок 3.2 – Застройка I типа. Характерная планировочная структура (фото С.М. Лыжина)

В застройке этого типа условия поверхностного стока приближены к естественным. Природный грунтовый сток практически не нарушен, возможно локальное антропогенное влияние в результате просачивания из выгребов, полива огородов либо забора подземных вод на полив, при этом плотность водонесущих сетей минимальная, подземных сооружений нет, дренажные системы, при их наличии чаще в современных малоэтажных поселках, стабилизируют уровень грунтовых вод на глубине порядка 2 м.

Второй тип застройки (рисунок 3.3). Во второй тип застройки выделено индустриальное домостроение 60–70-х гг. XX в., т.е. массовая пяти-, девятиэтажная застройка «хрущёвского» периода. Крупноблочные, кирпичные жилые дома 60-х гг., панельные дома первого поколения 70-х гг. По данным [115], по состоянию на 2004 г. вся многоэтажная и среднеэтажная застройка в пределах МО «Город Екатеринбург» составляет 3,6 тыс. га, включая магистральные улицы. Дома II типа застройки составляют на 2009 г. 36 % в структуре жилого фонда г. Екатеринбурга [116]. Данный тип застройки занимает 1035 га в пределах рассматриваемой территории г. Екатеринбурга (рисунок 3.1). Застройка этого периода широко распространена на территории города. Местоположение: Верх-Исетский район, Вторчермет, Химмаш, Втузгородок, Октябрьский район, Сорти-

ровка. Наиболее характерен строчный приём застройки кварталов, но в конце 70-х гг. наблюдается переход к групповому приему застройки.

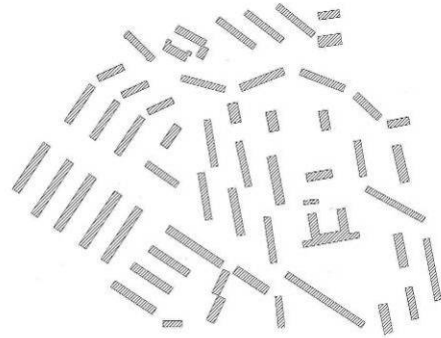


Рисунок 3.3 – Застройка II типа. Характерная планировочная структура (фото С.М. Лыжина)

Естественный режим поверхностных и подземных вод изменен вследствие строительного освоения территории. Изменения связаны с нарушением инфильтрации и испарения при планировке и застройке территории, барражирующим эффектом зданий и техногенными утечками из подземных водонесущих коммуникаций. Естественный поверхностный сток нарушен в результате устройства водонепроницаемых покрытий проездов, тротуаров и площадок. Строительство ведется по полной раздельной системе водоотведения с устройством сети закрытой ливневой канализации. Водоотвод с крыш чаще всего организован по наружным водостокам на покрытие проездов и далее в дождеприемники, расположенные на прилегающих улицах. Многочисленные утечки из водонесущих коммуникаций, нарушения естественной схемы поверхностного водоотвода, наличие бесхозных территорий с бессточными участками оказывают значительное влияние на гидрогеологические условия территорий. Зачастую участки города этого периода постройки находятся в подтопленном состоянии в результате техногенного воздействия.

Третий тип застройки (рисунок 3.4). Многоэтажные девяти-, шестнадцатизэтажные панельные жилые дома, которые возводились в период массового строительства 1980-х – начала 1990-х гг., отнесены к третьему условно выделенному типу застройки. Дома III типа застройки составляли на 2009 г. 21 % в структуре жилого фонда г. Екатеринбурга [116]. В пределах рассматриваемой террито-

рии г. Екатеринбурга (рисунок 3.1) площадь данного типа застройки составила 685 га. Наряду с жилыми массивами II типа застройки, III тип имеет повсеместное распространение на территории города. Местоположение: Заречный, ВИЗ, Уралмаш, Эльмаш, в этот период строятся целые жилые районы, наиболее крупными из которых в г. Екатеринбурге (как в объекте исследования) являются ЖБИ, Ботаника, Синие камни, Юго-Западный район. Приём застройки микрорайонов – групповой (Ботаника, Синие Камни) и периметральный (ЖБИ, микрорайон Заречный в Железнодорожном районе).

Условия поверхностного и грунтового стока аналогичны II типу застройки.



Рисунок 3.4 – Застройка III типа. Характерная планировочная структура (фото С.М. Лыжина)

В настоящее время происходит процесс уплотнения территорий микрорайонов второго и третьего типов застройки за счёт строительства точечных высотных зданий. Поскольку такое уплотнение оказывает влияние также и на водный баланс техногенного ландшафта, во время обследования рассматривались наиболее «чистые» случаи, т.е. кварталы, не подвергшиеся реконструкции или уплотнению.

Четвёртый тип застройки (рисунок 3.5) охватывает современное монолитно-каркасное многоэтажное (9/16/25-этажное) строительство жилых домов начиная с конца 1990-х по 2010-е гг. Дома IV типа застройки составляли на 2009 г. 16 % в структуре жилого фонда г. Екатеринбурга [116]. Данный тип застройки занимает 375 га в пределах рассматриваемой территории г. Екатеринбурга (рисунок 3.1). Наряду с сохранением тенденции уплотнения застройки и строи-

тельства точечных зданий в центральной части города, активно ведётся массовое жилищное строительство в районах Академический, Широкая Речка, Эльмаш, Уралмаш, Втузгородок. Наряду с освоением нетронутых ландшафтов, новое строительство ведётся на территориях бывших промышленных площадок, снесённых бараков и другого ветхого жилья. Как правило, приём застройки микро-районов периметральный и групповой.

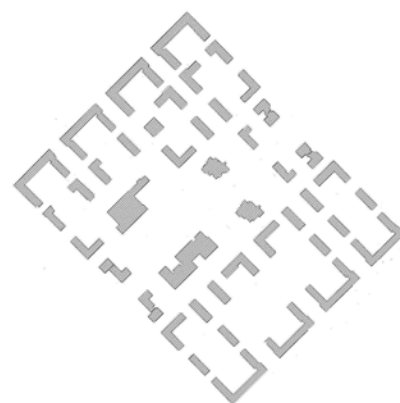


Рисунок 3.5 – Застройка IV типа. Характерная планировочная структура (фото С.М. Лыжина)

Наиболее характерным примером массового жилого строительства г. Екатеринбурга начала второй декады 2000-х гг. являются выросший «в чистом поле» район Академический, жилые комплексы, построенные на бывших территориях промышленных предприятий, Университетский, Бажовский, Калиновский, Хрустальногорский и пр.

Большую роль в изменении подхода к проектированию и строительству в последние годы сыграло увеличение количества личного автотранспорта. Согласно [115] обеспеченность населения индивидуальными легковыми автомобилями по состоянию на 2003 г. составляла 161 ед. на 1000 жителей, на 2015 – 240 ед., прогноз на 2025 – 320 ед., а значит, выросла и продолжает расти потребность в местах для постоянного и временного хранения автомобилей. Высокая плотность застройки и строительство жилых зданий с предельно допустимой этажностью приводят к большой плотности жителей и, следовательно, к большому количеству личных автомобилей, что влечёт за собой необходимость обеспечения большого количества мест для хранения автотранспорта. Поскольку использова-

ние для этих целей дневной поверхности земли нерационально, для хранения автомобилей активно осваивается подземное пространство и устраиваются подземные автостоянки.

Таким образом, планировочное решение жилой территории IV типа, как правило, представляет собой многоэтажную периметральную застройку квартала с устройством подземной автостоянки под всем дворовым пространством, при этом подземная автостоянка имеет эксплуатируемую кровлю, на которой располагаются благоустроенный двор, хозяйственные площадки, площадки для отдыха, игр и пр. Прокладка инженерных сетей выполнена в специальных технических тоннелях и коридорах. Организованный отвод поверхностных вод с крыш и покрытий проездов, тротуаров и площадок осуществляется напрямую в сеть закрытой ливневой канализации, отдельно устраиваются дренажные системы, т.е. весь сток, и поверхностный и подземный, отрегулирован и организован.

3.3. Фактор нарушения естественного поверхностного стока с территории

3.3.1. Степень изученности вопроса

Процессы, связанные с выпадением осадков, подразделяются на процессы, которые происходят непосредственно «во время дождя» (в период выпадения) и «после дождя». Количественно объем осадков, задействованных в эти периоды, определяется с учётом коэффициента поверхностного стока. Основные процессы, связанные с сокращением величины поверхностного стока, или виды потерь осадков во время дождя следующие:

- потери на перехват зелёными насаждениями;
- испарение в период дождя (имеет небольшую интенсивность);
- поверхностное задержание – потери воды на образование плёнки и заполнение бессточных неровностей;
- инфильтрация в грунт, за период выпадения ливня инфильтрация постепенно уменьшается по мере наполнения пор водой.

Процессы (виды потерь осадков), которые продолжаются после непосредственного выпадения осадков:

- испарение, а именно испарение с открытых водных поверхностей и эвапотранспирация – испарение растительностью и с поверхности обнажённых почв;
- инфильтрация атмосферных осадков в грунт.

Техногенные факторы, которые имеют место на застроенных территориях независимо от периода:

- утечки из водонесущих сетей;
- искусственное дренирование территории [12, 13, 105].

Первым наиболее значимым фактором техногенного влияния на водный баланс территории является нарушение естественного поверхностного стока в результате вертикальной планировки территории, устройства искусственных покрытий и организованного поверхностного водоотвода через систему дождевой канализации. Все эти антропогенные преобразования ландшафта значительно

вливают на природный водный баланс территории. В результате чего увеличивается объём отводимого поверхностного стока и сокращается время «добегания» выпавших атмосферных осадков до водных источников. При этом в результате вертикальной планировки корректируется, как правило, увеличивается величина уклонов микрорельефа, а значит, изменяется и возрастает скорость и время отвода стока с территории, а принципиальная схема и господствующее направление уклона сохраняются.

Объектом исследования в данной работе является жилая застройка в пределах красных линий (линий застройки) – застройка микрорайона в пределах междемагистральной территории. В связи с этим в поле зрения попадает только отвод поверхностного стока по открытым плоскостям поверхностей микрорайона, т.е. с крыш, проездов, тротуаров, площадок и газонов, без учёта систем закрытой ливневой канализации.

Отсутствие системы закрытой дождевой канализации на территории микрорайонов обусловлено отечественной и региональной исторически сложившейся нормативно-правовой базой, планировочной и экономической ситуацией, согласно которым сеть водостоков устраивается вдоль магистральных улиц городского и районного значения и жилых улиц, и только в исключительных случаях сложного (равнинного, бессточного) рельефа дождеприёмные колодцы выполняются внутри междемагистральной территории, т.е. на территории селитебной или рекреационной зоны. Отсутствие дождеприёмных колодцев и сети внутриквартальной дождевой канализации на территории жилых микрорайонов подтверждается проведёнными обследованиями. Таким образом, для дальнейшего рассмотрения представляет интерес моделирование факторов, влияющих на величину поверхностного стока с селитебной территории без учёта пробега по коллекторам водостоков закрытой дождевой канализации.

Понятие поверхностного стока количественно и качественно характеризует коэффициент поверхностного стока – отношение величины стока к величине выпавших на водосборную площадь осадков, который зависит от рода поверхности бассейна стока, интенсивности и продолжительности дождя [84]. Таким обра-

зом, моделирование нарушения естественного поверхностного водоотвода свелось к моделированию коэффициента поверхностного стока и влияющих на него параметров. Исследование проводилось путём аналитической обработки существующих данных по величине коэффициента поверхностного стока (найденных в различных источниках: нормативной, справочной, специальной, учебной литературе) в зависимости от различных параметров ландшафта, а также путём натурных обследований селитебных территорий разных периодов застройки.

Значения коэффициента стока, характеризующие разные виды поверхностей согласно [80, 84, 86, 97], приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Значения коэффициента поверхностного стока для разных видов поверхностей

Поверхность	Коэффициент стока
Кровля зданий и сооружений, асфальтобетонные покрытия дорог	0,95
Брусчатые мостовые и черные щебёночные покрытия дорог	0,60
Булыжные мостовые	0,45
Щебёночные покрытия, не обработанные вяжущими	0,40
Гравийные садово-парковые дорожки	0,30
Грунтовые поверхности (спланированные)	0,20
Газон	0,10
Грунтовые неспланированные поверхности	0,00

Значения коэффициента стока в зависимости от типа застройки и интенсивности осадков согласно [86, 97] приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Значения коэффициента поверхностного стока в зависимости от типа застройки и времени года

Территория	Зимне-весенний период	Летне-осенний период	Среднегодовое значение
Старая коммунальная застройка	0,28	0,25	0,26
Коммунальная многоэтажная застройка	0,28	0,24	0,25
Индивидуальная застройка	0,22	0,05	0,09

Зона бульваров	0,64	0,00	0,18
Весь город	0,34	0,10	0,16

Коэффициент стока согласно СП 32.13330.2012 «Канализация. Наружные сети и сооружения» и [85] – в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Значения коэффициента поверхностного стока для разных видов поверхностей и в зависимости от типа застройки

Вид поверхности или площадки стока	Общий коэффициент стока
Кровли и асфальтобетонные покрытия	0,6–0,7
Бульжные или щебеночные мостовые	0,4–0,5
Кварталы города без дорожных покрытий, небольшие скверы, бульвары	0,2–0,3
Газоны	0,10
Кварталы с современной застройкой	0,3–0,5
Средние города	0,3–0,5
Небольшие города и поселки	0,25–0,4

Коэффициент стока согласно СП 121.13330.2012 «Аэродромы» – в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Значения коэффициента поверхностного стока для разных видов поверхностей в зависимости от типа грунтов

Род поверхности	Коэффициент стока дождевых вод при поверхностях водосборных площадей		
Покрытия: асфальтобетонные цементобетонные	0,95 0,85		
Грунтовые поверхности	Супесь	Суглинок	Глина
Грунтовые обочины: незадернованные задернованные	0,60 0,55	0,65 0,60	0,70 0,65
Грунтовые водосборные площади: без дернового покрова с дерновым покровом	0,25 0,15	0,35 0,25	0,40 0,30

По данным СНиП 2.06.03-85 «Мелиоративные системы и сооружения», обобщённые значения коэффициента поверхностного стока в зависимости от водопроницаемости почв и уклона поверхности приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Значения коэффициента поверхностного стока в зависимости от типа грунтов и уклона водосборной площади

Водопроницаемость грунтов	Коэффициент фильтрации, м/сут	Коэффициент поверхностного стока при уклоне водосборной площади		
		слабом (менее 0,1)	среднем (0,01–0,05)	большом (свыше 0,05)
Хорошая	2,0	0,10–0,20	0,15–0,25	0,20–0,30
Средняя	1,0	0,15–0,25	0,20–0,30	0,25–0,40
Ниже средней	0,5	0,20–0,30	0,25–0,45	0,35–0,60
Слабая	0,1	0,25–0,40	0,30–0,60	0,50–0,75
Мерзлый грунт	-	0,30–0,60	0,40–0,75	0,80–0,95

Согласно [117] осредненные значения коэффициента годового поверхностного стока для различных видов поверхностей составляют значения, указанные в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Значения коэффициента поверхностного стока для разных видов поверхностей

Вид поверхности	Коэффициент стока	Примечание
Кровли	0,80–0,95	Для почти плоских кровель 0,80
Асфальтобетонные покрытия	0,80–0,90	В зависимости от состояния покрытия для старых, разрушенных покрытий 0,80
Акватории водотоков (кюветы, канавы, каналы и др.)	0,70	
Откосы насыпей, отвалов, дамб	0,50–0,65	В зависимости от механического состава материала поверхности для более пористых материалов 0,50
Брусчатые мостовые и черные щебёночные покрытия дорог	0,50–0,60	Для щебёночных пористых покрытий 0,50

Бульжные мостовые	0,45	
Щебёночные покрытия, необработанные вяжущими материалами	0,40	
Гравийные покрытия	0,30	
Грунтовые покрытия (спланированные)	0,20	
Неспланированные, неуплотненные отвалы	0,15	
Захламлённые насыпные поверхности, покрытые травянистой растительностью	0,15	
Газоны	0,10	

Коэффициент стока, используемый при расчёте водоотводящих систем в практике строительства в Западной Европе (на примере Германии), по данным [118], приведён в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Значения коэффициента поверхностного стока для разных видов поверхностей

Тип покрытия	Фактор (коэффициент) стока
Крыши	1,00
Брусчатое покрытие с залитыми (заделанными) щелями или бетон	0,90
Брусчатое покрытие с открытыми щелями, деревянная брусчатка	0,85
Пешеходные дорожки из отдельных плиток	0,60
Дороги без покрытия, грунтовые дворовые площади	0,50
Эксплуатируемые кровли с озеленением спецгазоном (10 см слой растительного грунта)	0,40
Поле	0,30
Игровые и спортивные площадки с песчаным покрытием	0,25
Полисадники	0,15
Садовые участки	0,10
Луга, леса, рощи, парки, зелёные территории	0,05
Затопляемые или находящиеся рядом с водой зелёные территории, парки, луга, леса	0,00

Для бессточных территорий, где отсутствуют ливневая канализация и поверхностные водостоки, обычно это участки с индивидуальной застройкой, коэффициент поверхностного стока принимается равным нулю [97].

Обобщение зависимостей после проведённого сбора данных показало, что в большинстве случаев указаны значения коэффициента поверхностного стока в зависимости от типа поверхности (таблицы 3.1, 3.3, 3.4, 3.6, 3.7). Чем выше водонепроницаемость покрытия, тем больше коэффициент поверхностного стока.

Наблюдается зависимость коэффициента поверхностного стока от типа грунтов (таблица 3.4) и водопроницаемости грунтов (таблица 3.5). Очевидно, что обе эти таблицы отражают зависимость коэффициента поверхностного стока от инфильтрационных и фильтрационных свойств грунтов, слагающих площадку. Иными словами, чем более водопроницаемые грунты, тем меньше на площадке формируется поверхностного стока.

Зависимость коэффициента поверхностного стока от величины уклона водосборной площади указана в таблице 3.5. Соответственно, с увеличением уклона увеличивается скорость поверхностного стока. В результате вертикальной планировки в случае территорий, на которых естественный поверхностный водоотвод затруднён, когда происходит изменение уклонов – чаще всего повышение до нормативных, увеличивается величина коэффициента поверхностного стока.

Зависимость коэффициента поверхностного стока от характеристик застройки отражена в таблицах 3.2, 3.3, проанализировав которые, сделан вывод, что величина поверхностного стока больше для современной и многоэтажной застройки и меньше для старой и индивидуальной.

В результате выполненного анализа установлено, что коэффициент (или объём) поверхностного стока зависит:

- от типа (рода) поверхности;
- от интенсивности осадков;
- от вида грунтов, слагающих площадку, их водопроницаемости и фильтрационных свойств;
- от уклонов водосборной площади;

- опосредованно от ряда характеристик застройки: этажность, возраст, плотность застройки;
- в сравнении с данными, принимаемыми в Германии, от качества покрытий и применяемых материалов.

Вышеперечисленные факторы, влияющие на объём поверхностного стока, можно разделить на естественные и техногенные. К естественным относятся: свойства грунтов, климатические условия – количество осадков, господствующие уклоны местности. К антропогенным или техногенным факторам: наличие водонепроницаемых покрытий, микрорельеф застроенных площадок, характеристики застройки.

После анализа справочных данных на основе предложенной модели водного баланса застроенной территории выявлено, что коэффициенты поверхностного стока для разных типов застройки в процессе дальнейшего моделирования с учётом [119] формализованно могут быть назначены в диапазонах, указанных в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Справочные значения коэффициента поверхностного стока для разных типов застройки

Тип застройки	Справочный коэффициент стока
I	0,10–0,40
II	0,25–0,50
III	0,26–0,50
IV	0,30–0,50

С учётом того, что значения объёма стока с водонепроницаемых искусственно созданных поверхностей значительно превышают значения для грунтовых и растительных покрытий, а также приняв во внимание исследования Н.Н. Белова, согласно которым, если площадь водонепроницаемых покрытий превышает

30 %, то коэффициент стока перестаёт зависеть от интенсивности и продолжи-

тельности дождя [85], получено, что основной интерес представляет исследование водонепроницаемых покрытий, так как их наличие и объём наиболее ощутимо влияют на поверхностный сток, формируемый на застроенных ландшафтах. Таким образом, на величину коэффициента поверхностного стока, определяемого для селитебной территории в целом, влияет баланс всех типов покрытий и особенно количественное и качественное состояние водонепроницаемых поверхностей, а именно крыш и заасфальтированных покрытий проезжих частей и тротуаров.

3.3.2. Поверхностный сток с территории. Уточнение расчетных значений на основе баланса покрытий

Для исследования существующего инженерного благоустройства жилых районов селитебных территорий г. Екатеринбурга (как объекта исследования) разных периодов постройки, состояния покрытий поверхности земли и состояния поверхностного водоотвода была выполнена аналитическая обработка данных инженерно-топографических планов, а также проведено натурное обследование этих территорий.

В рамках данной работы селитебная территория всего города уже была прозонирована по типам застройки. Были выделены планировочные районы массовой жилой застройки с аналогичными планировочными характеристиками, такими как этажность, год постройки, планировочное решение и т.д. Для дальнейшего исследования были выбраны наиболее «чистые» случаи жилой застройки того или иного периода, т.е. территории, обладающие всеми основными характеристиками, предъявляемыми предложенной классификацией и не подвергавшиеся реконструкции, уплотнению, точечной застройке и т.п. Уклоны местности рассмотренных участков находятся в пределах от 0 до 4 %.

Исследование выполнено по планировочным районам г. Екатеринбурга: Верх-Исетский, Комсомольский (ЖБИ), Ботанический, Заречный, ВИЗ и в центральной части города, так как эти районы являются наиболее типовыми, наиболее полно отражают тип массовой застройки выделенных периодов.

Моделирование и обработка результирующих материалов проводились в программе AutoCAD. На инженерно-топографических планах исследуемые территории были ограничены линиями застройки, которые определены по данным публичной кадастровой карты (<http://pkk5.rosreestr.ru>), в пределах этих жилых территорий были выделены и подсчитаны различные типы покрытий (рисунки 3.6, 3.7).

Обобщение статистических результатов после картографического обследования элементов благоустройства и определения средневзвешенных значений

по соотношению площадей покрытий по 22 районам общей площадью 248 га (см. Приложение Б) позволило получить зависимости баланса покрытий от условно выделенного типа застройки. Полученные данные сведены в таблице 1 Приложения В, а также представлены в виде круговых диаграмм и графика на рисунках 3.8, 3.9.

Полученные результаты обследования для II типа застройки сравнивались с данными из [78] на 1971 г., согласно которым ориентировочные показатели баланса территории в жилых кварталах и микрорайонах составляют 50–65 % для зелёных насаждений, 15–20 % – для дорог и площадок и 20–22 % для застройки. Таким образом, полученные значения совпадают с ранее полученными данными и уточняют их для конкретных условий г. Екатеринбурга.



Рисунок 3.6 – Благоустройство II типа с выделенными существующими типами покрытий (проезды и площадки)

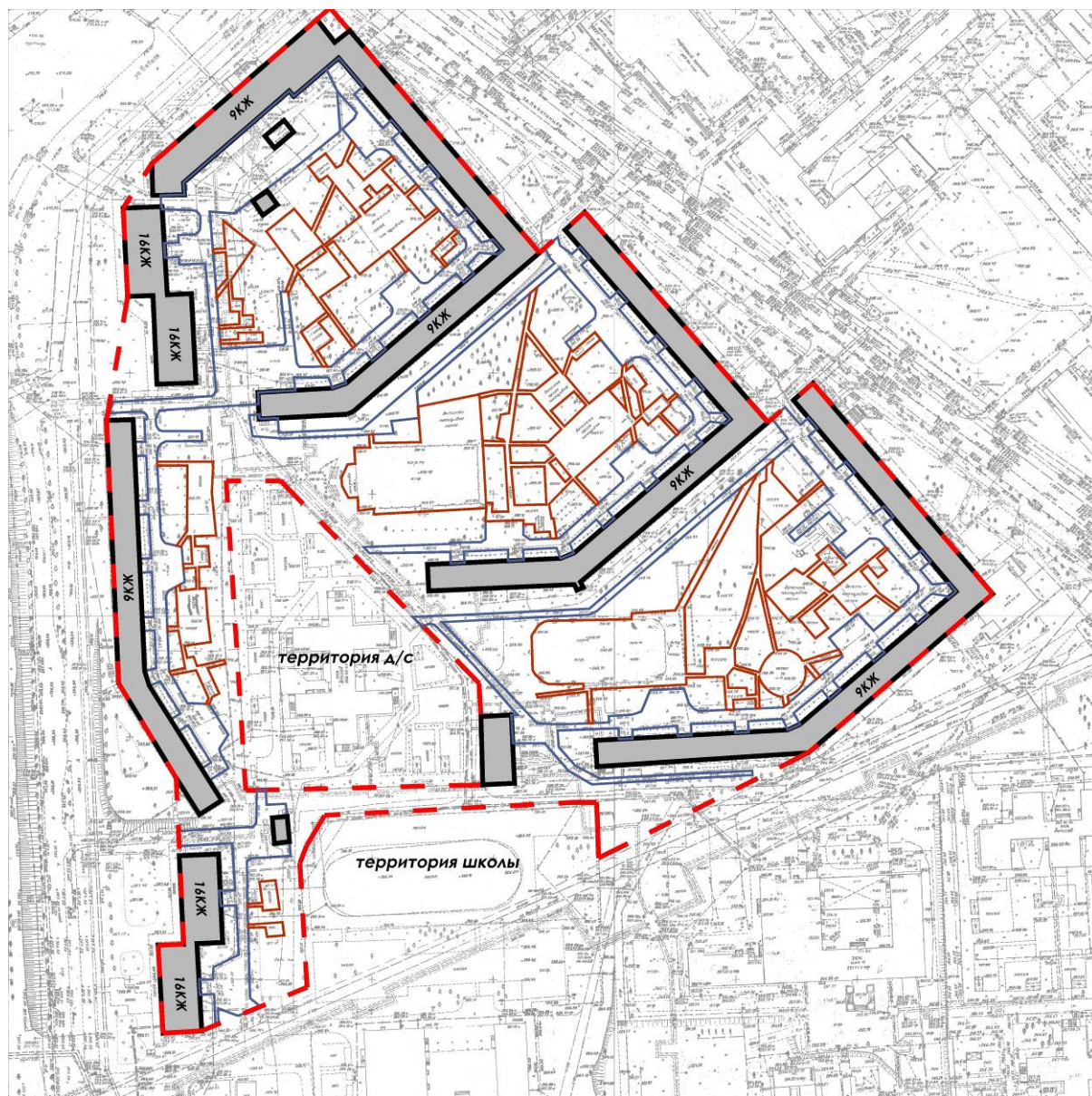


Рисунок 3.7 – Благоустройство III типа с выделенными существующими типами покрытий (проезды и площадки)

После обработки данных методом корреляционного анализа, примененного к данным по балансу покрытий, с помощью программы MS Office Excel, результаты были представлены в виде графика зависимости процента (доли) озелененных и заасфальтированных покрытий от общей площади селитебных участков. Графики показывают тенденцию увеличения процента «зачеканенных» в асфальт поверхностей в исторической ретроспективе развития города [120].

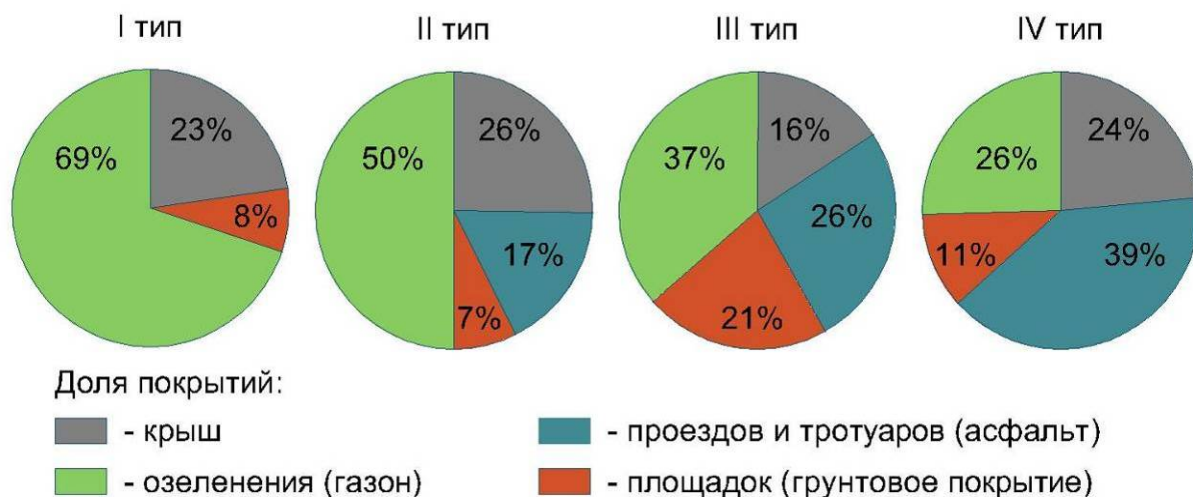


Рисунок 3.8 – Баланс покрытий застроенных ландшафтов в зависимости от морфотипа застройки

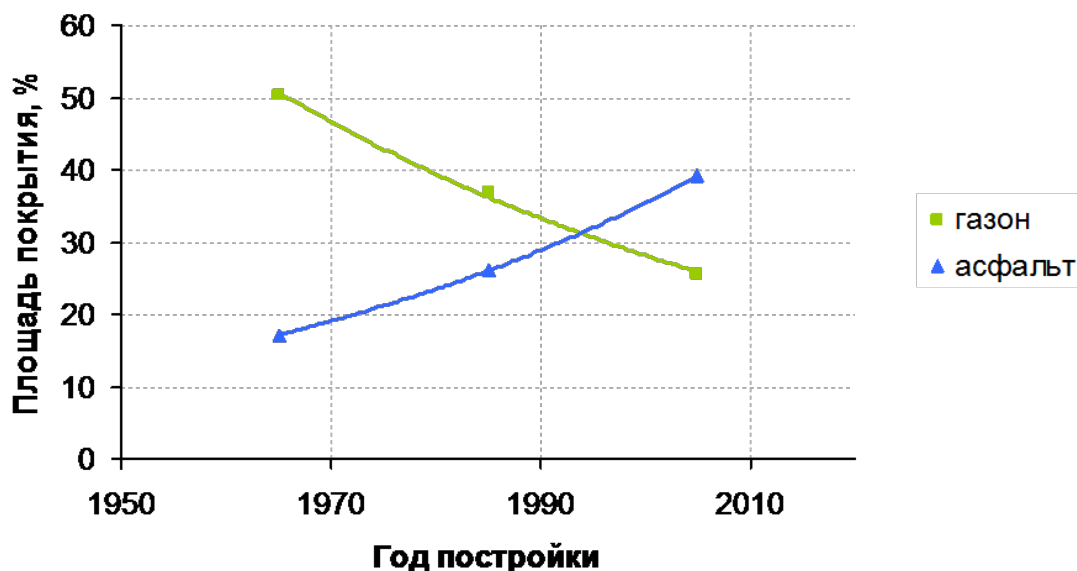


Рисунок 3.9 – Зависимость процента площади покрытий от года постройки для жилой застройки г. Екатеринбурга

По полученным результатам (данным графика, представленным на рисунке 3.9) прослеживается увеличение количества заасфальтированных поверхностей и наблюдается тенденция «зачеканивания» дневной поверхности земли в водонепроницаемые покрытия, т.е. в г. Екатеринбурге (как объекте исследования) зафиксирована ситуация, аналогичная тенденциям, имеющим место в странах Западной Европы. На представленном графике зависимости доли газона и асфальта от типа застройки коэффициент корреляции составил более 0,9, что согласно шкале для оценки степени зависимости между величинами означает, что корреляция положительная весьма высокая.

Определение величины репрезентативной выборки

Для определения величины необходимого объёма репрезентативной выборки при исследованиях выделенных морфотипов застройки было принято: вид выборки – собственно случайная, метод выборки – бесповторный, тогда минимально необходимое значение площади обследования от общей выделенной территории массовой, включая индивидуальную, жилой застройки г. Екатеринбурга, равной 2770 га, с предельной ошибкой в 0,0625 га (площадь 25×25 м) при 95,4 % доверительной вероятности составила [121]:

$$n = \frac{t^2 \omega(1-\omega)N}{\Delta_{\omega}^2 N + t^2 \omega(1-\omega)} = \frac{2^2 \times 0,5 \times (1-0,5) \times 2770}{0,0625^2 \times 2770 + 2^2 \times 0,5 \times (1-0,5)} = 234 \text{ га}, \quad (3.1)$$

где t – коэффициент доверия, для $t = 2$ доверительная вероятность равна 0,954;

ω – выборочная доля или доля единиц, обладающих некоторым свойством;

$\omega(1 - \omega)$ – дисперсия альтернативного признака;

Δ_{ω} – предельная ошибка репрезентативной выборки, принята 0,0625 га;

N – объём генеральной совокупности.

В настоящей работе были исследованы жилые территории общей площадью 248 га (см. таблицу 1 Приложения В), что превышает минимально необходимый объем репрезентативной выборки, равный 234 га.

3.3.3. Коэффициент бессточных участков техногенных ландшафтов

Дальнейшее исследование посвящено поиску зависимости объёма поверхностного стока от качества водонепроницаемых покрытий. С этой целью были проведены натурные обследования жилых районов в г. Екатеринбурге. Для обследования были приняты ранее рассмотренные при определении баланса покрытий районы.

Натурные обследования, которые заключались в выявлении техногенных факторов, влияющих на величину поверхностного стока с усовершенствованных (водонепроницаемых) покрытий, показали, что заасфальтированные покрытия дворовых территорий во многих случаях нарушены или полностью разрушены. Также во многих случаях поверхностный водоотвод не обеспечивается и на покрытии проездов и тротуаров образуются техногенные бессточные мульды (лужи). Наличие последних приводит к задержанию выпавших на территории осадков. Иначе говоря, используемый в расчете коэффициент стока для участков территорий с такими нарушенными водонепроницаемыми и слабоводопроницаемыми покрытиями (асфальт, брусчатка и т.п.) должен корректироваться с учётом состояния покрытий проездов и тротуаров. Для дальнейшего моделирования процесса влияния сложившегося окружения автором был введён формализованный вспомогательный коэффициент «бессточных участков» [122].

Принятый коэффициент «бессточных участков» характеризует состояние водонепроницаемых покрытий, к которым в первую очередь относятся заасфальтированные плоскости проезжих частей улиц, проездов и тротуаров. Под техногенными «мульдами» понимаются лужи, ямы, понижения и провалы, образовавшиеся на поверхности заасфальтированных покрытий и приводящие к нарушению поверхностного стока. Природа появления таких бессточных участков разнообразна – от проектных ошибок при выполнении вертикальной планировки и погрешностей при строительстве до постепенного износа покрытий в условиях отсутствия капитального ремонта, т.е. их возникновение потенциально возможно на всех стадиях: проектирования, строительства и эксплуатации. В теоретическом

плане следовало бы исключить вышеназванные факторы из рассмотрения, сославшись на необходимость улучшения (идеализации) процессов проектирования, строительства и эксплуатации. Однако реальная жизнь и приводит к возникновению так называемых техногенных факторов, которые, в свою очередь, являются предметом данного исследования.

Дальнейший анализ был посвящён определению зависимости величин коэффициента «бессточных участков» от возраста застройки и уточнения значений коэффициента поверхностного стока в зависимости от выделенных планировочно-исторических типов застройки.

Коэффициент «бессточных участков», с учётом природы его происхождения, может быть определён исключительно эмпирическим путём. Определение его величины предусматривает натурное обследование жилых кварталов, аналитическую обработку планов местности, анализ и систематизацию полученных результатов. В результате оценки 11 жилых районов г. Екатеринбурга разных годов постройки общей площадью 146 га в период с мая по сентябрь 2012 г. и 2013 г. была установлена количественная величина коэффициента «бессточных участков» для застроенных селитебных территорий. Определение значений коэффициента «бессточных участков» при настоящих натуральных обследованиях выполнялось по следующей методике:

- 1) Исходными данными послужили материалы, полученные при обработке инженерно-топографических планов селитебных районов города – площади различных видов покрытий на территориях разных типов застройки. Для выделенных в настоящем исследовании типов застройки были установлены и определены площади следующих видов покрытий: крыш (застройки), заасфальтированных покрытий проезжих частей проездов и тротуаров, площадок с грунтовыми покрытиями и газонов.

- 2) Непосредственно натурные обследования водонепроницаемых покрытий в ранее «просчитанных» микрорайонах были проведены в тёплый период года после выпадения осадков в виде дождей. Во время натуральных обследований определялись местоположение, тип покрытия и количественные характеристики за-

топленных бессточных мульд – площадь (м^2) и глубина (мм). Фиксация объёмов (габарита и глубины мульды) была выполнена с помощью ручных измерительных инструментов – рулетка измерительная металлическая длиной 500 мм, фотофиксация дефектов и повреждений – цифровой фотоаппарат (рисунок 3.10).



Рисунок 3.10 – Проведение замеров при натурном обследовании состояния покрытий проездов и тротуаров

Расчёт площади антропогенных образований (мульд) со сложной конфигурацией вёлся путём приближения сложной геометрической формы к более простой, что предопределяет наличие погрешности. Но учитывая тот факт, что все замеры на всех территориях велись по аналогичной методике, значения в процентном отношении являются достоверными и данной погрешностью в процессе дальнейшего моделирования можно пренебречь.

3) Площадь затопленных бессточных мульд в отношении ко всей площади заасфальтированных покрытий, на которых они образовались, дают значения коэффициентов «бессточных участков» для данных покрытий. Глубина «бессточных участков» оценивалась в мм осадков (слоя воды).

Сводные результаты, полученные при натурных обследованиях, приведены в таблице 2 Приложения В.

На основании данных таблицы 2 Приложения В построены графики замеров коэффициента и глубины «бессточных участков» для II и III типа застройки, представленные на рисунках 3.11 – 3.14.

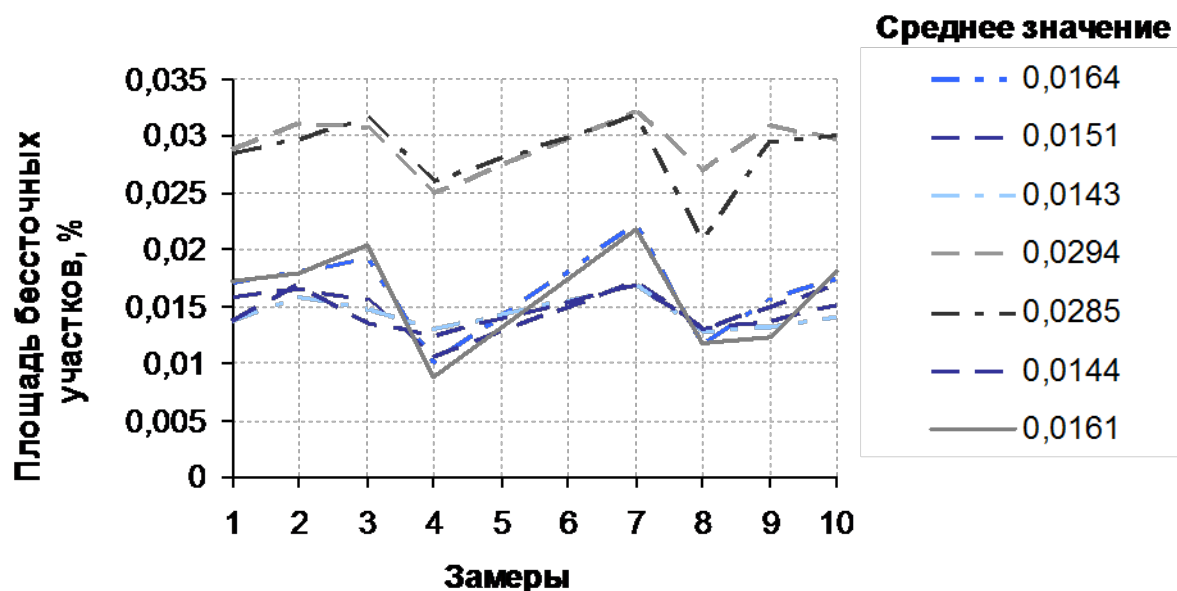


Рисунок 3.11 – График замеров *коэффициента* «бессточных участков» для II типа застройки

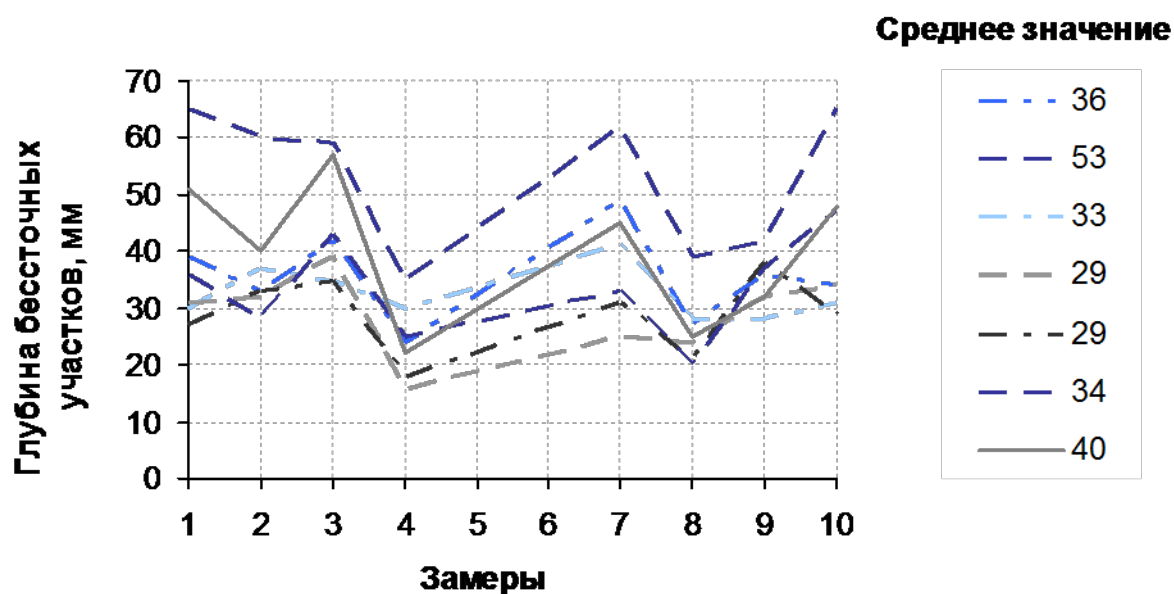


Рисунок 3.12 – График замеров *глубины* «бессточных участков» для II типа застройки

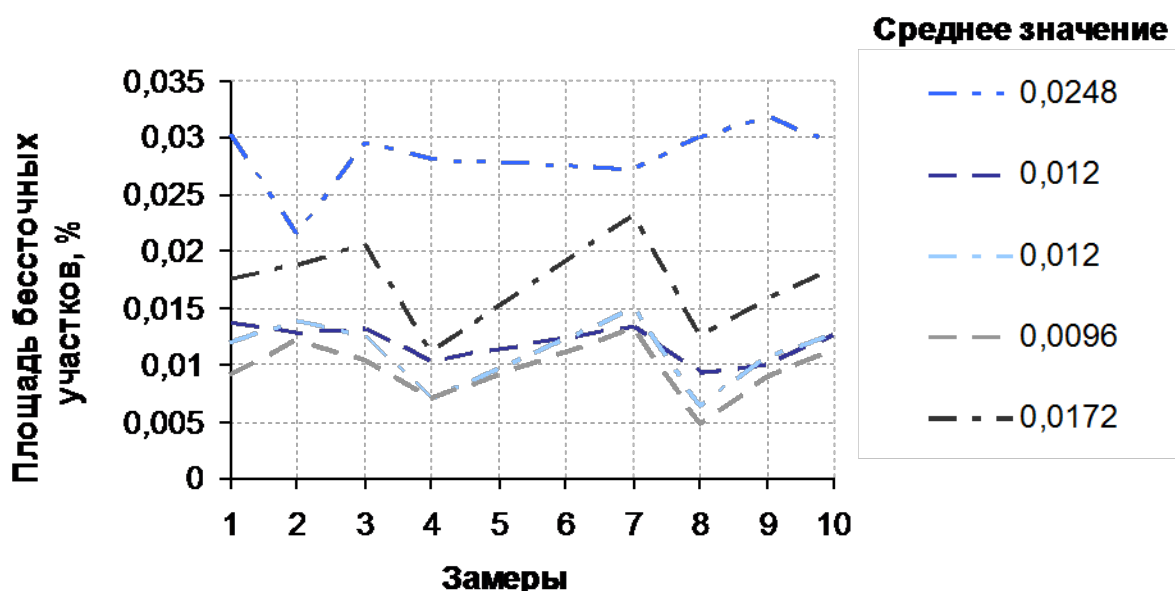


Рисунок 3.13 – График замеров коэффициента «бессточных участков» для III типа застройки

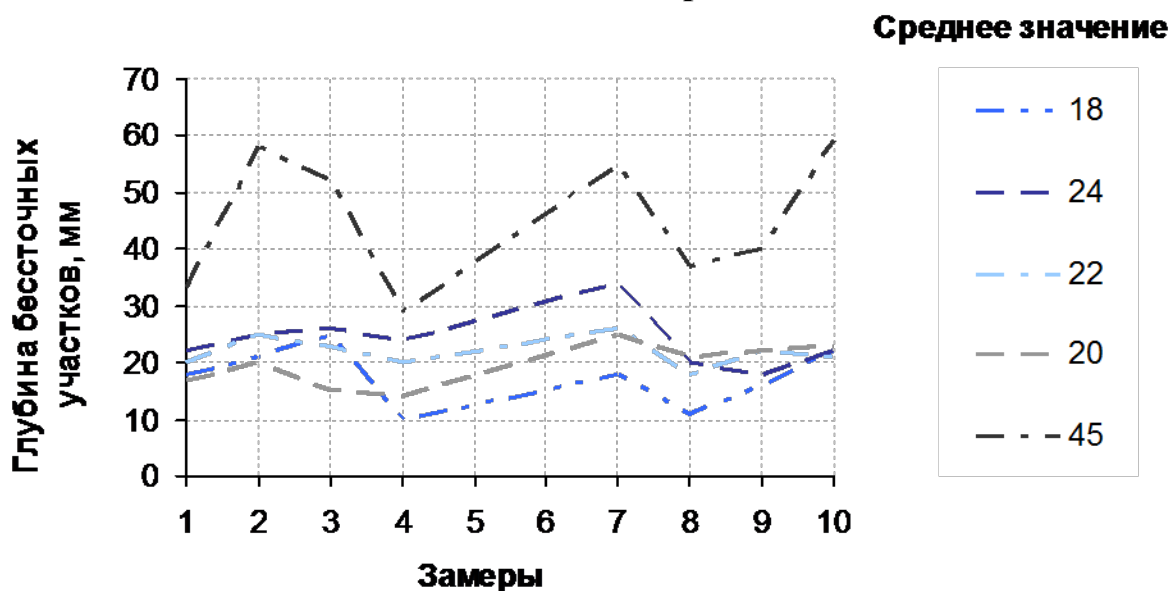


Рисунок 3.14 – График замеров глубины «бессточных участков» для III типа застройки

В результате обследования установлено, что количество и глубина бессточных участков в первую очередь зависят:

- от погодных условий (метеорологических данных);
- от возраста покрытия, т.е. можно утверждать, что косвенно и от выделенного типа застройки.

4) Метеорологические данные (количество осадков, влажность, скорость ветра, температура воздуха) за периоды, во время выпадения которых заполнились водой «бессточные участки» и выполнялись замеры, были предоставлены

Гидрометцентром Свердловской области по данным на метеостанции г. Екатеринбурга и приведены в таблице 3.9. Метеорологические характеристики района по материалам многолетних наблюдений на метеостанции г. Екатеринбурга по [123] приведены в таблице 3.10.

Таблица 3.9 – Суточные метеорологические данные в дни замеров бессточных участков по данным метеостанции г. Екатеринбурга

Номер замера	Дата	Сумма осадков за сутки, мм	Средняя температура воздуха, град.	Относительная влажность, %	Средняя скорость ветра, м/с
1	10.06.2012	11,5	20,9	68	2,4
2	18.07.2012	7,9	26,4	56	2,6
3	24.07.2012	12,3	18,0	74	2,8
4	12.08.2012	4,0	18,6	90	1,5
5	25.08.2012	22,4	13,9	91	1,6
6	02.07.2013	2,9	17,1	54	1,5
7	14.07.2013	9,8	14,9	83	3,4
8	03.08.2013	3,4	20,2	75	2,1
9	16.08.2013	5,8	22,6	67	2
10	23.09.2013	12,8	10,4	86	2,5

Таблица 3.10 – Метеорологические характеристики района по материалам многолетних наблюдений на метеостанции г. Екатеринбурга

Месяц	Среднее месячное количество осадков, мм	Средняя месячная температура воздуха, град.	Средняя месячная влажность воздуха, %	Средняя месячная скорость ветра, м/с
июнь	69	15,1	62	3,4
июль	84	17,2	68	3,0
август	74	14,9	72	2,9
сентябрь	45	9,2	74	3,4

Примечание: средний суточный максимум осадков – 36 мм, максимальный наблюдаемый (1 %) – 94 мм.

Таким образом, на количество техногенных бессточных участков влияют и другие факторы: температура воздуха, влажность, ветер, т.е. температурно-влажностный и аэрационный режим. В результате исследования получены данные по коэффициентам «бессточных участков», которые соответствуют значениям количества осадков от 3,4 до 12,8 мм, температуры от 10,4 до 26,4 °С, относительной влажности от 56 до 90 % и скорости ветра от 1,5 до 3,4 м/с. После обобщения получено, что для II типа застройки характерен коэффициент «бессточных участ-

ков» 0,015–0,028, а для застройки III типа – 0,011–0,022 со средней глубиной мульд 29–53 и 18–45 мм слоя воды, соответственно.

Коэффициент «бессточных участков» может не учитываться, т.е. быть равным нулю, в том случае, когда поверхностный водоотвод повсеместно обеспечен, отсутствуют разрушения покрытий, выполнена ковровая вертикальная планировка территории. Такие случаи возможны при новом строительстве или на территориях после реконструкции и капитального ремонта. Так, например, в прогнозных расчётах условно может быть принято, что значения коэффициентов «бессточных участков» для застройки 2000–2010-х гг. равны нулю, так как это либо вновь построенные районы, где отсутствуют разрушения покрытий, либо только ещё проектируемые.

Полученные результаты по значениям коэффициентов «бессточных участков» в случае, когда городская территория обладает перечисленными характеристиками и может быть отнесена к одному из предложенных типов застройки, позволяют корректировать значения коэффициента стока, а также расчёты при проектировании компенсационных мероприятий. Если застроенная территория не попадает под предложенную классификацию, то предполагается единичное локальное определение коэффициента «бессточных участков» конкретной площадки, следуя по аналогии предложенной последовательности замеров и расчётов.

Следует воздержаться от неверных выводов, что наличие техногенных бессточных участков оказывает положительное действие на городскую среду в связи с тем, что они способствуют «задержанию» осадков в застройке и как бы благоприятно влияют на микроклимат в результате испарения поверхностных вод. Существующее инженерное благоустройство должно обеспечивать комфорт и безопасность передвижения транспорта и пешеходов. Совершенно недопустимым является «спланированное» наличие выбоин, нарушений и разрушений покрытий, появившихся в результате плохой эксплуатации городской среды. Задержание же атмосферных осадков должно выполняться специально предусмотренными для этого устройствами, являющимися элементами ландшафтного дизайна и инженерного благоустройства.

3.3.4. Определение усредненного коэффициента поверхностного стока в зависимости от типа застройки

В процессе дальнейшего моделирования был получен усредненный коэффициент поверхностного стока в зависимости от принятых типов застройки с учётом полученных в результате исследования баланса покрытий (для всех четырёх морфотипов застройки) и коэффициента «бессточных участков» (для II и III типов застройки). Значения коэффициента «бессточных участков» учитывались для дождей, при которых сумма осадков за сутки составляет от 4 до 12 мм.

Значение усредненного коэффициента поверхностного стока определяется по формуле (2.8). Для *I* типа застройки:

$$k_{cm}^I = k_1 \times s_1^I + k_3 \times s_3^I + k_4 \times s_4^I = \\ = 0,9 \times 23 \% + 0,2 \times 8 \% + 0,1 \times 69 \% = 0,291,$$

где k_1 – коэффициент стока с крыш, принятый равным 0,90;

k_3 – коэффициент стока с грунтовых покрытий, принятый равным 0,20;

k_4 – коэффициент стока с газона, принятый равным 0,10;

s_1^I – доля площади застройки (крыш) для I типа застройки (здесь и далее принято по таблице 1 Приложения В);

s_3^I – доля площади грунтовых покрытий;

s_4^I – доля площади газона.

II тип застройки:

$$k_{cm}^{II} = k_1 \times s_1^{II} + k_2 (1 - K_{л}^{II}) \times s_2^{II} + k_3 \times s_3^{II} + k_4 \times s_4^{II} = 0,90 \times 26 \% + \\ + 0,95 (1 - 0,021) \times 17 \% + 0,2 \times 7 \% + 0,1 \times 50 \% = 0,454,$$

где k_1 – коэффициент стока с крыш, принятый равным 0,90;

k_2 – коэффициент стока с заасфальтированных покрытий, принятый равным 0,95;

k_3 – коэффициент стока с грунтовых покрытий, принятый равным 0,20;

k_4 – коэффициент стока с газона, принятый равным 0,10;

$K_{л}^{II}$ – коэффициент «бессточных участков» водонепроницаемых покрытий для II типа застройки, принятый равным 0,021;

s_1^{II} – доля площади застройки (крыш) для II типа застройки;

s_2^{II} – доля площади заасфальтированных покрытий;

s_3^{II} – доля площади грунтовых покрытий;

s_4^{II} – доля площади газона.

III тип застройки:

$$k_{cm}^{III} = k_1 \times s_1^{III} + k_2 (1 - K_{л}^{III}) \times s_2^{III} + k_3 \times s_3^{III} + k_4 \times s_4^{III} = 0,90 \times 16 \% + 0,95 (1 - 0,017) \times 26 \% + 0,2 \times 21 \% + 0,1 \times 37 \% = 0,468,$$

где $K_{л}^{III}$ – коэффициент «бессточных участков» водонепроницаемых покрытий для III типа застройки, принятый равным 0,017;

s_1^{III} – доля площади застройки (крыш) для III типа застройки;

s_2^{III} – доля площади заасфальтированных покрытий;

s_3^{III} – доля площади грунтовых покрытий;

s_4^{III} – доля площади газона.

IV тип застройки:

$$k_{cm}^{IV} = k_1 \times s_1^{IV} + k_2 \times s_2^{IV} + k_3 \times s_3^{IV} + k_4 \times s_4^{IV} = 0,90 \times 24 \% + 0,95 \times 39 \% + 0,2 \times 11 \% + 0,1 \times 26 \% = 0,636,$$

где s_1^{IV} – доля площади застройки (крыш) для IV типа застройки;

s_2^{IV} – доля площади заасфальтированных покрытий;

s_3^{IV} – доля площади грунтовых покрытий;

s_4^{IV} – доля площади газона.

Сравнение полученных результатов с известными значениями из справочной литературы выполнено в таблице 3.11 и представлено на рисунке 3.15.

Полученные в результате исследования значения коэффициентов в зависимости от типа застройки частично подтверждают диапазон справочных данных, собранных для выделенных типов застройки. Выход за границы справочных значений коэффициента для IV типа застройки связан с тем, что эта величина для современной застройки (возраст менее 15 лет) ранее не исследовалась. А также само

понятие «современная застройка» в справочной литературе является относительным и переменным.

Таблица 3.11 – Значения коэффициента поверхностного стока в зависимости от типа застройки

Тип застройки	Справочный коэффициент стока	Коэффициент стока, полученный в результате исследования
I	0,10–0,40	0,29
II	0,25–0,50	0,45
III	0,26–0,50	0,47
IV	0,30–0,50	0,64

Введённый коэффициент «бессточных участков» является фактором, характеризующим техногенную составляющую водного баланса ландшафта, с использованием которого учитывается качество состояния водонепроницаемых покрытий благоустроенных территорий, и служит для более точного определения коэффициента поверхностного стока.

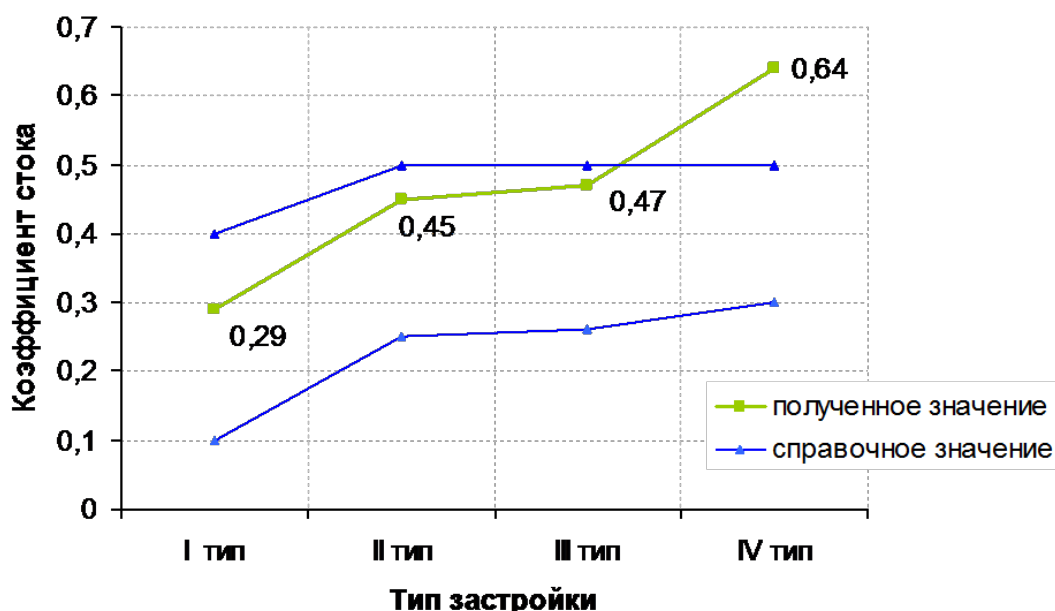


Рисунок 3.15 – Зависимость коэффициента поверхностного стока от типа застройки

3.4. Техногенное влияние на водный баланс застроенного ландшафта

3.4.1. Обзор существующего состояния и изученности вопроса

Второй техногенный фактор, влияющий на водный баланс ландшафта, – повсеместно распространенные на территории крупных городов и промышленных предприятий утечки из водонесущих сетей. В случае, когда ландшафт сложен слабофильтрующими грунтами, аккумулирующими воду, это приводит к повышению уровня грунтовых вод и техногенному подтоплению территории, в результате чего значительно меняется режим и химический состав грунтовых вод [10].

Явление техногенного подтопления распространено и на территории г. Екатеринбурга, сложенного в основном слабофильтрующими суглинистыми грунтами с высоким положением водоупорных грунтов. По данным материалов инженерных изысканий, проведенных в г. Екатеринбурге в разные годы, выявлено, что на большей части территории города (около 80 %) подземные воды залегают выше 4 м от поверхности земли. При этом причины повышения уровня грунтовых вод весьма разнообразны, и помимо природных факторов: сезонного колебания уровня и движения земной коры являются антропогенные – утечки из водонесущих сетей [9]. Утечки возникают в результате разрушения трубопроводов под действием сил со стороны активного слоя земной коры [124], отсутствия регулярного ремонта и эффективной системы эксплуатации коммунальных сетей, превышения расчётной нагрузки в районах, где происходит уплотнение существующей застройки и, как следствие, более быстрый износ инженерных коммуникаций.

Многочисленные локальные разрушения трубопроводов вызывают утечки, имеющие постоянный, но неаварийный характер. В этих случаях не происходит прекращения подачи ресурса потребителю, в связи с этим их ликвидация происходит только в срок планового ремонта, а не по мере появления и обнаружения. В то же время своевременное выявление таких разрушений затруднено сложившимися особенностями прокладки инженерных систем, отсутствием постоянно дей-

ствующей системы мониторинга. Мониторинг утечек из водонесущих сетей может быть выполнен путём проведения многолетних режимных наблюдений за уровнем грунтовых вод через систему гидрогеологических скважин. А также путём систематизации данных показаний счётчиков, которые при повсеместной установке могут дать полную картину объёмов подачи и потребления воды от поставщиков до потребителей или путём плановых осмотров непосредственно самих коллекторов с помощью современного оборудования.

Полноценные данные мониторинга режима грунтовых вод и оценки техногенного подтопления на территории г. Екатеринбурга (объекта исследования) по вышеперечисленным методикам автором не найдены, а проведение таких исследований относится скорее к области гидрогеологии и водного хозяйства, а не градостроительства. В связи с этим в данной работе величина потерь из водонесущих сетей была определена методом конкретных аналогий с учётом данных инженерных изысканий, выполненных на территории г. Екатеринбурга в разные годы, путём анализа нормативной и справочной литературы, систематизацией опытных оценок экспертов в данной области и расчётными способами с использованием известных утверждённых методик.

В нормативной и справочной литературе [12, 86] фигурируют следующие данные относительно скорости поднятия уровня грунтовых вод в результате техногенного подтопления в зависимости от возраста застройки и мощности объекта.

Потери водопотребления, участвующие в формировании питания подземных вод, на территории селитебных районов согласно [98] составляют в среднем 3,6 % суммарного водопотребления. Для промышленных зон эти потери зависят от характера водопотребления производства и продолжительности его эксплуатации и составляют от 4 до 6 % расхода воды.

На основе анализа данных инженерно-геологических изысканий, выполненных на территории г. Екатеринбурга в разные годы [9], на основе многолетнего опыта проектирования и строительства, подтверждаемого экспертными опросами специалистов, установлены зависимости скорости техногенного подтопления от плотности и возраста застройки. Данные приведены в таблице 3.12.

Отмечается, что бесконечный рост скорости подтопления с увеличением возраста застройки в результате исследований не наблюдается. В какой-то момент прослеживается явление стабилизации объёма утечек из водонесущих сетей, что связано, в том числе, с заиливанием системы, производством плановых ремонтных работ и другими факторами. Так, определение расчётного УГВ для зданий различных классов ведётся на 15-летний или 25-летний период [98], из чего можно сделать вывод, что после какого-то срока скорость техногенного подтопления стабилизируется и имеет некоторую постоянную величину.

Таблица 3.12 – Зависимость скорости техногенного подтопления от возраста и типа жилой территории

Возраст селитебной территории (и водонесущих коммуникаций) и тип застройки	Скорость техногенного подтопления, м/год
Индивидуальная жилая застройка	0–0,03
менее 5 лет от момента строительства	0–0,03
от 5 до 10 лет	0,03–0,06
от 10 до 15 лет	0,06–0,09
от 15 до 20 лет	более 0,09
свыше 20 лет	0,03–0,06

Таким образом, величина утечек зависит от этажности, плотности застройки, возраста застройки, а значит, косвенно от каждого из выделенных в работе типов застройки. Всё это относительные данные, показывающие общую зависимость утечек от типа застройки. Но для определения *Index* (см. раздел 2.3) и решения уравнения водного баланса нужны абсолютные объёмы воды, фильтрующейся в грунт из водонесущих сетей. Для этого выполнено исследование и смоделирован объём утечек через характеристики сети водонесущих коммуникаций, а точнее, через плотность сети на единицу площади. При этом моделирование проводилось в зависимости от того или иного типа застройки по принятой типологии.

3.4.2. Определение объёма утечек из водонесущих сетей в зависимости от типа застройки

Для градостроительного исследования в рамках принятой типологии застройки и с учётом водобалансового подхода к проектированию инженерного благоустройства необходимо установить количественные зависимости объёма утечек из водонесущих систем от года постройки, этажности и планировочных особенностей, а значит, косвенно от выделенного типа застройки.

Абсолютный объём утечек из водонесущих сетей определён с помощью расчётной методики, изложенной в [97], согласно которой техногенная инфильтрация – $E_{техн}$ может быть получена по формуле (2.10):

$$E_{техн} = \omega_{\text{в}} + \omega_{\text{к}} + \omega_{\text{т}} + \omega_{\text{н}},$$

где $\omega_{\text{в}}$ – утечки из сетей водопровода;

$\omega_{\text{к}}$ – утечки из сетей канализации;

$\omega_{\text{т}}$ – утечки из теплосетей;

$\omega_{\text{н}}$ – инфильтрация воды при поливе зелёных насаждений.

Инфильтрация за счёт утечек определяется в зависимости от протяженности водонесущих коммуникаций с учётом параметров водоводов (материал трубопроводов, срок их службы, усредненные значения удельных утечек и др.). Расчёт составляющих инфильтрационного питания выполнен по формулам (2.11):

$$\omega_{\text{в}} = q_{\text{в}} \times L_{\text{в}} / F;$$

$$\omega_{\text{к}} = q_{\text{к}} \times L_{\text{к}} / F;$$

$$\omega_{\text{т}} = \gamma \times q_{\text{т}} \times L_{\text{т}} / F,$$

где $L_{\text{в}}$, $L_{\text{к}}$, $L_{\text{т}}$ – длина (м) внешних сетей водопровода, канализации, тепло-трасс на исследуемой территории площадью F (м²);

$q_{\text{в}}$, $q_{\text{к}}$, $q_{\text{т}}$ – удельные утечки соответствующего вида коммуникаций, (м³/сут на п.м);

γ – коэффициент продолжительности отопительного сезона в течение года, для г. Екатеринбурга (северный район) принят равным 0,8 по [97].

$q_{\text{в}} = 3,93 \times 10^{-2}$ м³/сут на п.м по таблице 10 [97] для городов с населением более 800 тыс. чел.

$q_k = 30 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{сут}$ на п.м по таблице 4 [97] для микрорайонных сетей канализации при условии, что УГВ ниже глубины укладки канализационных трубопроводов. Если УГВ выше канализационных трубопроводов, то утечки отсутствуют и может даже происходить обратный процесс – дренирование канализационным коллектором грунтовых вод вследствие их поступления в трубопровод через неплотности в стыковых соединениях и др.

Удельные утечки из теплотрасс q_m по [97] приняты равными $1,9 \times 10^{-2} \text{ м}^3/\text{сут}$ на п.м.

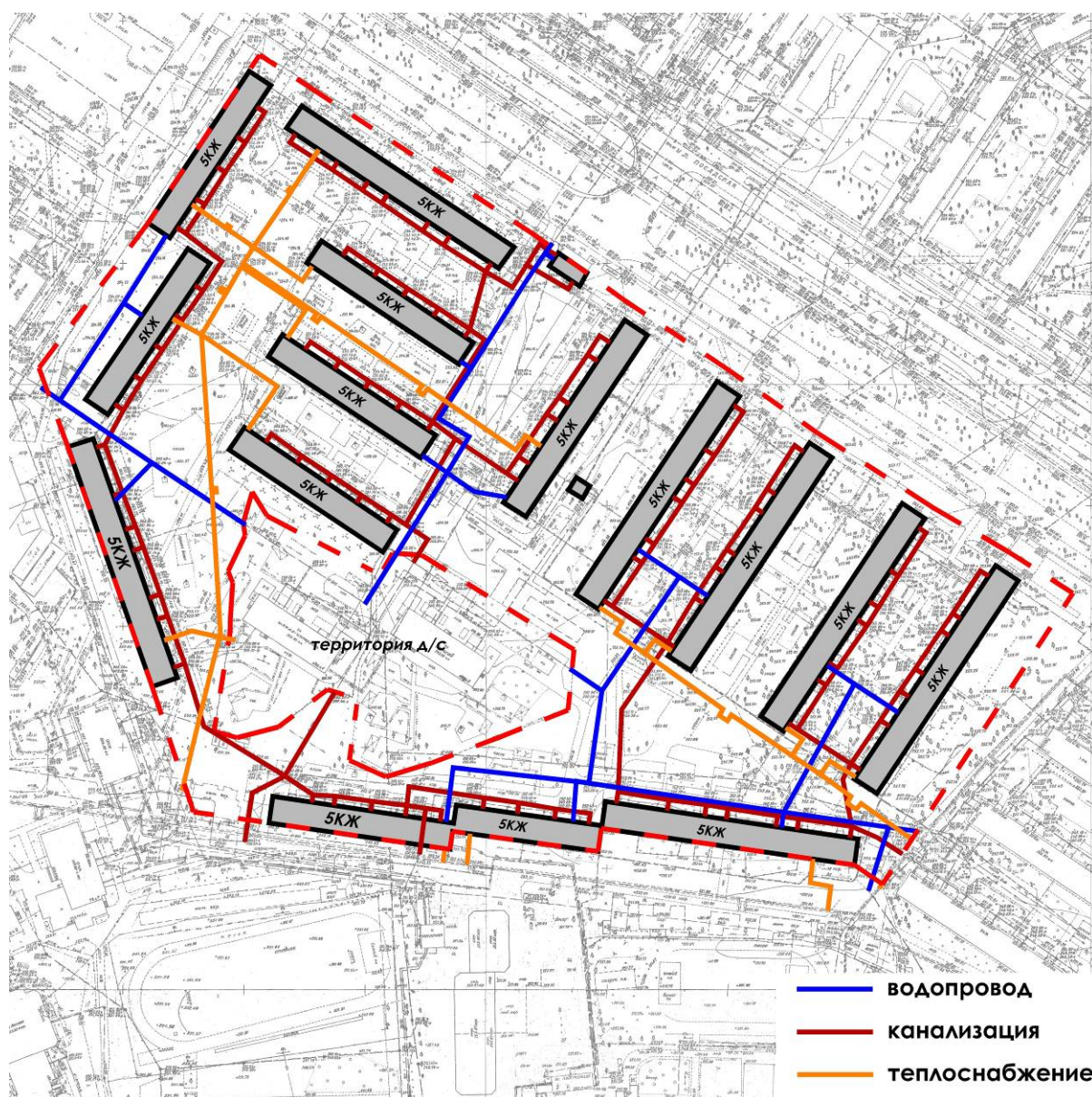


Рисунок 3.16 – Определение протяженности водонесущих сетей для II типа застройки

Для определения объёма утечек из водонесущих сетей была вычислена средняя протяженность водонесущих коммуникаций в районах с разными типами застройки (рисунки 3.16, 3.17) и далее на основе расчетных формул определён усредненный объём утечек в зависимости от усредненной протяженности водонесущих коммуникаций, а значит, и от предложенных типов застройки. Полученные данные сведены в таблицу 3 Приложения В.

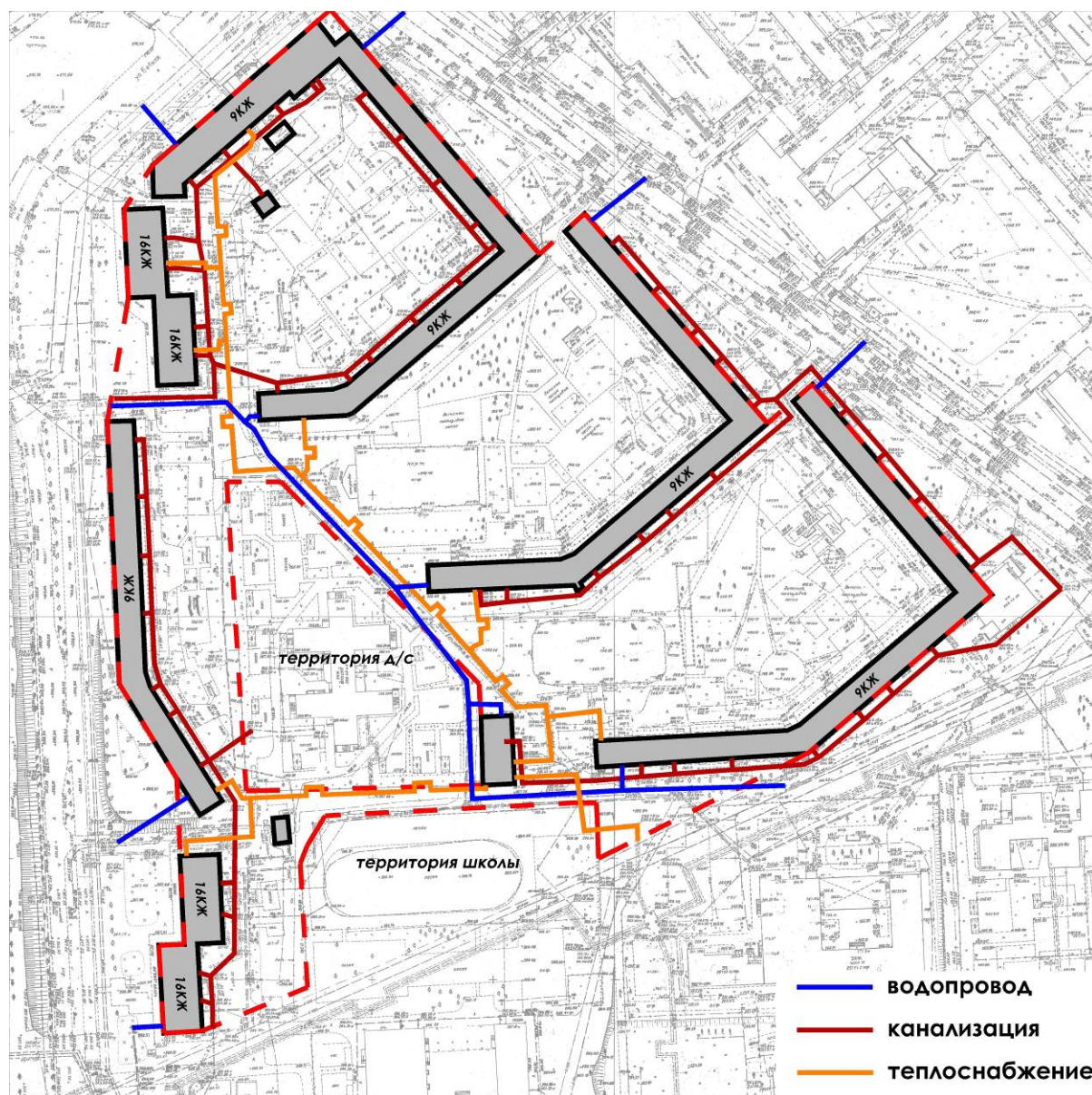


Рисунок 3.17 – Определение протяженности водонесущих сетей для III типа застройки

Полученные значения свидетельствуют о разнице плотности сетей, а значит, и о разнице количества утечек в зависимости от типа застройки. Без учёта изменения самих количественных показателей утечек на погонный метр. Для застройки II типа суммарное количество утечек на 1 м^2 составило $1,656 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{сут}$, для III типа – $1,042 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{сут}$.

Справочные усредненные значения плотности водонесущих сетей по [86, 97] составляют 200–250 м/га, полученные в результате исследования значения приведены в таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Усредненные значения плотности водонесущей сети в зависимости от типа массовой жилой застройки г. Екатеринбурга

Тип застройки	Вид сети	Усредненные значения плотности водонесущей сети, м/га
II	канализация	264
	водоснабжение	168
	теплоснабжение	134
III	канализация	180
	водоснабжение	101
	теплоснабжение	69

В случае современной застройки величина потерь водных ресурсов недостаточно изучена. Для этого требуются мониторинг и дальнейшие исследования. При этом необходимо учитывать, что в результате значительного освоения подземного пространства, как говорилось выше, происходит практически полное изменение естественного режима грунтовых вод в верхнем приповерхностном слое земли (зоне аэрации), где помимо утечек техногенным фактором является устройство мощных заглубленных водопонизительных (дренажных) систем.

Следует отказаться от преждевременных выводов о том, что утечки из водонесущих сетей «поддерживают» водный баланс ландшафта в плотно застроенной городской среде и благоприятно влияют на микроклимат. Наличие утечек однозначно отрицательно влияет на окружающую среду, так как провоцирует за-

грязнение грунтовых вод и изменение их химического состава. В то же время наличие утечек противоречит энергосберегающим принципам, которые в настоящее время приобретают всё большую актуальность [125]. Таким образом, в результате политики энергосбережения, повышения качества строительства, применения современных материалов и новых технологий при строительстве и эксплуатации инженерных сетей феномен техногенного повышения подземных вод должен иметь тенденцию если не к исчезновению, то к значительному сокращению, т.е. должен быть минимизирован настолько, насколько это позволяют местные условия.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3

1. С целью определения количественных показателей техногенных составляющих индекса водного баланса ландшафта были формально выделены четыре исторически сложившиеся морфотипа жилой застройки, широко представленные в г. Екатеринбурге как объекте исследования:
 - индивидуальная и малоэтажная застройка разных периодов;
 - пятиэтажная застройка «первого поколения» («хрущевского» периода) 1960–70-х гг.;
 - многоэтажные (9–16) панельные индустриальные дома «второго и третьего поколения» 1980-х и начала 1990-х гг.;
 - современная многоэтажная застройка начиная с конца 1990-х гг.
2. В результате натурных обследований установлено, что для каждого типа застройки характерно определённое соотношение баланса поверхностей. Такое единообразие в балансе покрытий территорий определённых годов постройки связано с тем, что для выделенных периодов был характерен свой объём элементов благоустройства. Проектирование и строительство, в свою очередь, велись по одним и тем же нормам, с использованием типовых решений на основе градостроительных тенденций соответствующего исторического времени застройки.
3. Полученные в результате проведенного исследования зависимости показывают тенденцию увеличения процента «зачеканенных» в асфальт поверхностей в исторической ретроспективе развития города.
4. Предложенный коэффициент «бессточных участков» характеризует состояние водонепроницаемых покрытий в техногенном ландшафте, к которым в первую очередь относятся заасфальтированные плоскости проезжих частей проездов и тротуаров. Под техногенными «мульдами» понимаются лужи, ямы, понижения и провалы, образовавшиеся на поверхности заасфальтированных покрытий и приводящие к нарушению поверхностного стока. Приро-

да появления таких бессточных участков разнообразна: от проектных ошибок при выполнении вертикальной планировки и погрешностей при строительстве до постепенного износа покрытий в условиях отсутствия капитального ремонта. Значения коэффициента бессточных участков зависят от исторически сложившегося типа застройки.

5. По результатам натурных обследований площадок г. Екатеринбурга и анализа существующих нормативных данных как в России, так и в Западной Европе, а также с учётом вновь выведенного показателя «коэффициент бессточных участков» получены усреднённые коэффициенты поверхностного стока техногенного ландшафта. Величина этих коэффициентов зависит от исторически сложившегося типа застройки.
6. Для определения объёма утечек из водонесущих сетей была смоделирована средняя протяженность водонесущих коммуникаций в районах с разными типами застройки и определён усредненный объём утечек из инженерных сетей в зависимости от усредненной протяженности водонесущих коммуникаций, присущей отдельным историческим типам застройки.

Полученные результаты приведены в Приложении Г.

ГЛАВА 4. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЛАГОУСТРОЙСТВА ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ С УЧЁТОМ ВОДНОГО БАЛАНСА ТЕХНОГЕННОГО ЛАНДШАФТА

Использование полученных теоретических результатов на практике предусматривает создание соответствующей методики, «инженерного инструмента», пригодного для оценки и прогноза изменений водного баланса техногенного ландшафта в процессе застройки территории, определения характера этих изменений и, в случае необходимости, разработку рекомендаций по типу и объёму компенсационных мероприятий. Эти компенсационные мероприятия, применяемые на уровне инженерного благоустройства, не исключают мероприятий по инженерной подготовке территории и призваны вместе с последними создавать благоприятную экологически сбалансированную жилую среду.

4.1. Методическая последовательность оценки и прогноза изменений водного баланса ландшафта в процессе застройки территории

На основании предложенной логико-математической модели оценки водного баланса застроенной территории (см. раздел 2.3), а также данных, полученных в настоящем исследовании (см. разделы 3.3, 3.4), предлагается оценивать состояние водного баланса застраиваемого ландшафта через расчёт вновь выведенного показателя *Index*, являющегося своего рода инструментом для констатации необходимости, а также определения типа и объёма компенсационных мероприятий и учитывающего влияние градостроительного окружения.

Методическая последовательность оценки и прогноза изменений водного баланса ландшафта в процессе застройки территории:

1. Сбор исходных данных.

В качестве исходных данных необходимы следующие материалы:

- гидрогеологические характеристики участка – тип грунтов (коэффициент фильтрации грунтов), глубина стояния уровня грунтовых вод (УГВ);

- данные по климату района – среднемесячные количество осадков, испаряемость;
 - параметры проектируемого инженерного благоустройства застраиваемого участка – баланс покрытий, техногенные составляющие водного баланса.
2. Расчёт индекса водного баланса ландшафта ($Index_{есм}$), условного объёма питания ($E_{есм}$) и условного потенциала поглощения ($Q_{есм}$) для исходного естественного состояния ландшафта. Эти показатели будут являться «эталонными» для данной территории, т.е. все дальнейшие рекомендации, включая необходимость разработки компенсационных мероприятий, будут направлены на возможное в данных конкретных условиях достижение проектными показателями этих исходных значений.
 3. Расчёт индекса водного баланса ландшафта ($Index$), условного объёма питания (E) и условного потенциала поглощения (Q) для проектного состояния.
 4. Сравнение значений индекса водного баланса ландшафта, условного объёма питания и условного потенциала поглощения для исходного естественного состояния ландшафта с проектным состоянием и принятие решения о характере и объёме компенсационных мероприятий.

Алгоритм проектирования компенсационных мероприятий, восстанавливающих нарушение водного баланса территории, представлен на рисунке 4.1.

В настоящей работе выполнено тестовое моделирование состояния водного баланса застроенного ландшафта для г. Екатеринбурга (объект исследования). Диапазон допустимых предельных отклонений от естественного состояния среды для г. Екатеринбурга принят в размере 50 % (см. раздел 2.3). Таким образом, в случае если проектные значения условного объёма питания и условного потенциала поглощения находятся в пределах:

$$0,5 E_{есм} \leq E \leq 1,5 E_{есм} \text{ и } 0,5 Q_{есм} \leq Q \leq 1,5 Q_{есм}, \quad (4.1)$$

то проектируемое инженерное благоустройство критически не влияет на естественный водный баланс застроенного ландшафта и может быть рекомендовано к реализации.

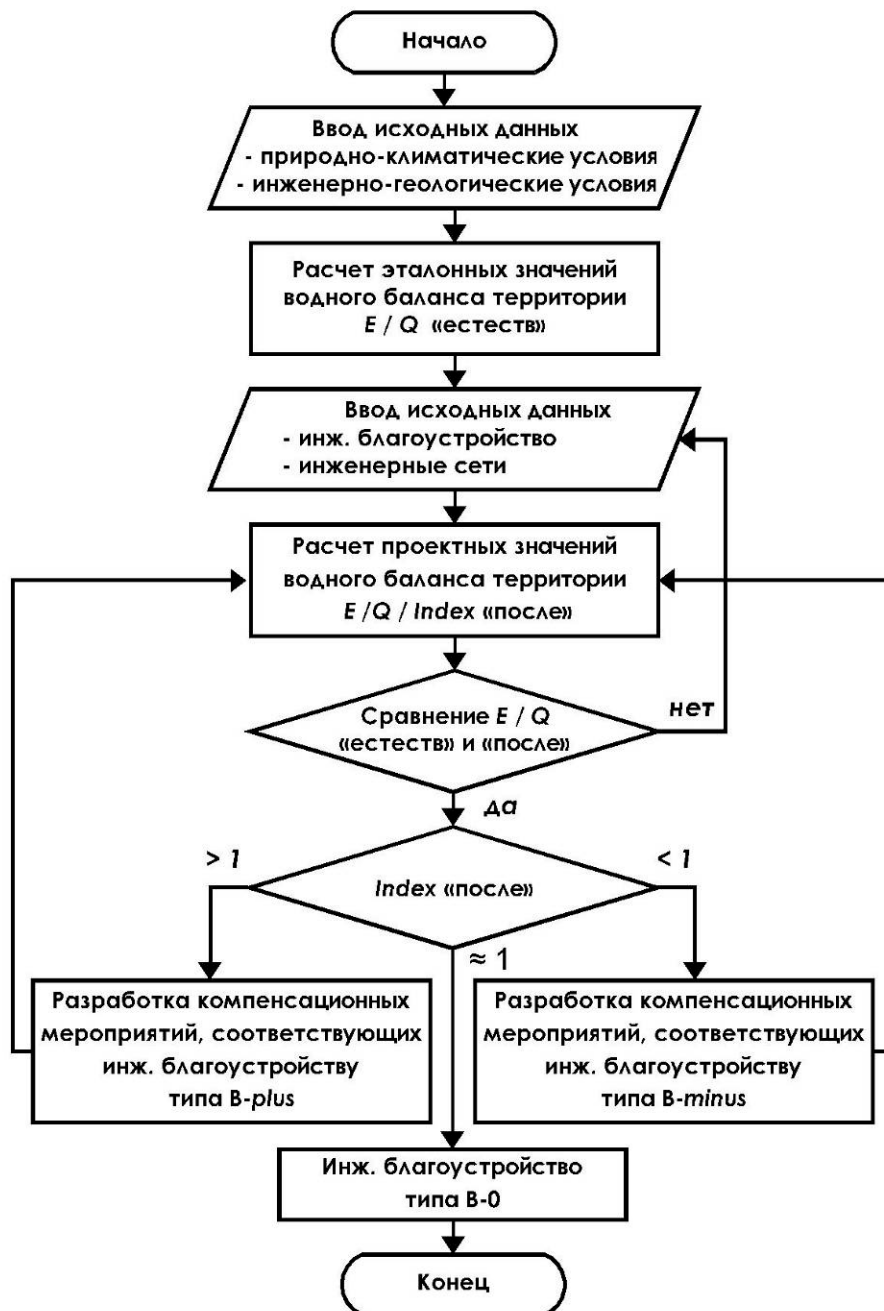


Рисунок 4.1 – Алгоритм проектирования инженерного благоустройства, восстанавливающего нарушение водного баланса территории

В случае если проектные значения E и Q не укладываются в пятидесятипроцентный диапазон, то на первом этапе проектирования принимается решение о необходимости пересмотра мероприятий инженерной подготовки территории в части устройства водонепроницаемых покрытий с целью их минимизации (максимизации).

симально возможного сокращения коэффициента поверхностного стока), а также по исключению влияния техногенных факторов на водный баланс ландшафта (сокращение утечек из водонесущих сетей).

На втором же этапе проектирования, на основе рассчитанного *Index*, разрабатываются рекомендации по устройству компенсационных мероприятий с учётом архитектурно-планировочных возможностей проектируемого благоустройства. Характер этих мероприятий определяется следующим образом:

при $Index > 1$ – водозадерживающие компенсационные мероприятия аккумулярующего и испаряющего типа;

при $Index < 1$ – компенсационные мероприятия аккумулярующего, испаряющего и инфильтрующего типа.

В случае строительства на уже освоенной территории данная последовательность применима с учётом ориентации состояния «после» на расчётное состояние ландшафта «без вмешательства», т.е. гипотетическое «естественное» состояние ландшафта.

4.2. Моделирование состояния водного баланса застроенного ландшафта

На первом этапе математического моделирования состояния водного баланса застроенного ландшафта был выполнен тестовый расчёт индекса водного баланса ландшафта для естественного состояния и для выделенных типов существующей застройки при следующих инженерно-геологических условиях: местоположение – *Екатеринбург* (объект исследования), *грунтовые воды залегают на глубине 3 м, площадка сложена усредненными суглинисто-супесчаными грунтами*, т.е. в качестве исходных данных были приняты типичные инженерно-геологические условия для территории объекта исследования. Полученные результаты сравнивались и были подтверждены данными натурных обследований (см. подраздел 3.3.3), инженерных изысканий и экспертных опросов (см. подраздел 3.4.1). На основе полученных данных проводилась калибровка модели, так, чтобы состоянию водного баланса ландшафта в «эталонном» естественном состо-

янии соответствовало значение $Index = 1$. Для чего на основании того, что выпадающие осадки задерживаются листвой растений и только частично инфильтруются в грунт, что подтверждается в [106, таблица 7.6], была откорректирована доля влияния озелененных покрытий в сравнении с грунтовыми при расчёте инфильтрационной ёмкости грунтов.

Далее с учётом внесенных уточнений был выполнен расчёт $Index$ для выделенных типов существующей застройки. Расчёт и анализ водобалансового состояния ландшафта сделан на период, когда водный баланс ландшафта находится в условном равновесии, т.е. для теплого периода года, когда уже стабилизировался вегетативный рост (расходы питания растительности, а значит, и показатели транспирации и эвапотранспирации) и, в то же время, еще не начался период осеннего влагонакопления. Для Екатеринбурга этот период согласно [104] имеет продолжительность с июня по сентябрь.

Среднегодовое количество осадков (P), по данным СП 131.13330.2012 «Строительная климатология», для теплого периода года за апрель-октябрь для г. Екатеринбурга составляет 392 мм, с июня по сентябрь – 272 мм или $0,272 \text{ м} / 122 \text{ сут} = 2,230 \times 10^{-3} \text{ м/сут}$.

Испаряемость (U_0) для Екатеринбурга принята по таблице 12 [97] для аналогичных климатических условий и составляет 426 мм для периода с июня по сентябрь или $0,426 \text{ м} / 122 \text{ сут} = 3,492 \times 10^{-3} \text{ м/сут}$.

Расчёт $Index$ для ландшафта в естественном состоянии

$Index_{ect}$ для водного баланса ландшафта в естественном состоянии с использованием формул (2.6) и (2.17), исключая техногенные составляющие, выражается как:

$$Index_{ect} = E_{ect} / Q_{ect} = (P - S) / [W + (U + T)]$$

Для идеального водобалансового состояния ландшафта примем коэффициент поверхностного стока (k) равным нулю, т.е. все осадки, выпадающие на площадке, задерживаются в ее пределах без образования поверхностного стока, тогда:

$$(P - S) = P (1 - k) = P = 2,23 \times 10^{-3} \text{ (м/сут)}$$

Инфильтрационная ёмкость грунтов для ландшафта в естественном состоянии доля площади, полностью занятой растительностью, составляет единицу, принимает вид:

$$W = \omega \times 0,5 = 1,85 \times 10^{-3} \text{ (м/сут)}$$

Суммарное испарение и транспирация ($U + T$) с единицы поверхности в единицу времени (м/сут) рассчитывается по формуле (2.14):

$$U + T = U_0 K_{з.л.} K_p = 3,492 \times 10^{-3} \times 0,08 \times 1,45 = 0,41 \times 10^{-3} \text{ (м/сут)}$$

Поправочный коэффициент ($K_{з.л.}$) при глубине залегания уровня грунтовых вод 3 м для срединного значения суглинисто-супесчаных грунтов по таблице 13 [97] принят 0,08.

Коэффициент, учитывающий расход грунтовых вод на транспирацию растительностью (K_p) по формуле (2.15) с учётом того, что доля площади, занятой древесно-кустарниковой растительностью, составляет единицу, для ландшафта в естественном состоянии принят равным 1,45.

Тогда индекс водного баланса ландшафта в естественном состоянии для теплого периода с июня по сентябрь для территории, расположенной в г. Екатеринбурге, сложенной усредненными суглинисто-супесчаными грунтами, при залегании УГВ на глубине 3 м равен:

$$\begin{aligned} Index_{ест} &= E_{ест} / Q_{ест} = (P - S) / (W + (U + T)) = \\ &= 2,23 \times 10^{-3} / (1,85 \times 10^{-3} + 0,41 \times 10^{-3}) \approx 1 \end{aligned}$$

Расчёт *Index* для I типа застройки

По формулам (2.6) и (2.17) для I типа застройки:

$$Index^I = E^I / Q^I = (P - S) / (W + (U + T))$$

Величина атмосферных осадков, задерживающихся на исследуемой территории, равна разнице среднегодового количества атмосферных осадков (P) и величины поверхностного стока (S):

$$(P - S) = P (1 - k) = 2,230 \times 10^{-3} (1 - 0,29) = 1,58 \times 10^{-3} \text{ (м/сут)}$$

Коэффициент поверхностного стока (k) по данным таблицы 3.11 для I типа застройки принят равным 0,29.

Инфильтрационная ёмкость грунтов (W), которую определяем по формуле (2.13) с учётом данных по балансу покрытий для I типа застройки (Приложение Г) принимает вид:

$$W = \omega \times (s_3^I + s_4^I \times 0,5) = 3,7 \times 10^{-3} \times (0,08 + 0,69 \times 0,5) = 1,57 \times 10^{-3} \text{ (м/сут)}$$

Интенсивность инфильтрации грунтов (ω) согласно таблице 4 приложения Г [108] для срединного значения суглинисто-супесчаных грунтов равна $3,7 \times 10^{-3}$ (м/сут).

Суммарное испарение и транспирация ($U + T$) с единицы поверхности в единицу времени (м/сут) рассчитывается по формуле (2.14):

$$(U + T) = U_0 K_{\text{г.л.}} K_{\text{э}} K_p = 3,492 \times 10^{-3} \times 0,08 \times 0,857 \times 1,406 = 0,34 \times 10^{-3} \text{ (м/сут)}$$

Поправочный коэффициент ($K_{\text{г.л.}}$) при глубине залегания уровня грунтовых вод 3 м для срединного значения суглинисто-супесчаных грунтов по таблице 13 [97] принят 0,08.

Коэффициент экранирующего эффекта ($K_{\text{э}}$) по таблице 15 [97] равен 0,857, учитывая, что для I типа застройки доля непроницаемых для влаги покрытий (ρ) по данным Приложения Г составляет 0,229.

Коэффициент, учитывающий расход грунтовых вод на транспирацию растительностью (K_p), рассчитывается через преобразование формулы (2.15). С учётом данных по балансу покрытий для I типа застройки (Приложение Г) и учитывая, что в среднем расход на эвапотранспирацию (суммарное испарение и транспирация) с площадей, занятых древесно-кустарниковой растительностью, превышает на 45 % испарение с площадей, лишенных растительности:

$$K_p = 1 + 0,45 s_4^I / (s_3^I + s_4^I \times 0,5) = 1 + 0,45 \times 0,695 / (0,08 + 0,69) = 1,406$$

Индекс водного баланса ландшафта для I типа застройки равен:

$$\begin{aligned} Index^I &= E^I / Q^I = (P - S) / (W + (U + T) + D) = \\ &= 1,58 \times 10^{-3} / (1,57 \times 10^{-3} + 0,34 \times 10^{-3}) = 0,83 < 1 \end{aligned}$$

Условный потенциал поглощения превосходит условный объём питания, следовательно, исходный ландшафт в естественном состоянии относится к типу «B-plus» (без риска возникновения процесса подтопления). Возможное развитие

техногенной инфильтрации в индивидуальной застройке характеризуется инфильтрационным питанием, обусловленным поступлением в грунты стоков из выгребных ям и при поливе зелёных насаждений. В данном примере исходный ландшафт с заданными гидрогеологическими и климатическими характеристиками в случае наличия дополнительной техногенной инфильтрации способен принять дополнительный объем без риска развития процесса подтопления.

Расчёт *Index* для II типа застройки

По формулам (2.6) и (2.17) для II типа застройки:

$$Index^{\text{II}} = E^{\text{II}} / Q^{\text{II}} = ((P - S) + E_{\text{техн}}) / (W + (U + T))$$

Величина атмосферных осадков, задерживающихся на исследуемой территории, составляет:

$$(P - S) = P (1 - k) = 2,230 \times 10^{-3} (1 - 0,45) = 1,22 \times 10^{-3} \text{ (м/сут)}$$

Коэффициент поверхностного стока с учётом коэффициента «бессточных участков» по таблице 3.11 для II типа застройки принят равным 0,45.

Техногенная инфильтрация за счёт утечек из подземных коммуникаций и поливных вод рассчитывается по формуле (2.10):

$$E_{\text{техн}} = \omega_{\text{в}} + \omega_{\text{к}} + \omega_{\text{т}} + \omega_{\text{н}} = 1,66 \times 10^{-3} \text{ (м/сут)}$$

Суммарное количество утечек из сетей водопровода ($\omega_{\text{в}}$), канализации ($\omega_{\text{к}}$) и теплосетей ($\omega_{\text{т}}$) по данным Приложения Г для II типа застройки составляет $1,656 \times 10^{-3}$ м/сут.

Инфильтрация воды при поливе зеленых насаждений ($\omega_{\text{н}}$) принимается равной нулю в связи с тем, что в данной работе рассматриваются междомагистральные жилые территории г. Екатеринбурга, на которых активного полива зелёных насаждений не ведётся.

Инфильтрационная ёмкость грунтов, которую определяем по формуле (2.13), с учётом данных по балансу покрытий для II типа застройки (Приложение Г) принимает вид:

$$W = \omega \times (s_3^{\text{II}} + s_4^{\text{II}} \times 0,5) = 3,7 \times 10^{-3} \times (0,07 + 0,50 \times 0,5) = 1,18 \times 10^{-3} \text{ (м/сут)}$$

Суммарное испарение и транспирация:

$$(U + T) = U_0 K_{\text{з.л.}} K_9 K_p = 3,492 \times 10^{-3} \times 0,08 \times 0,707 \times 1,397 = 0,28 \times 10^{-3} \text{ (м/сут)}$$

Коэффициент экранирующего эффекта (K_9) по таблице 15 [97] равен 0,707, учитывая, что для II типа застройки доля непроницаемых для влаги покрытий (ρ) по данным Приложения Г составляет 0,429.

Коэффициент, учитывающий расход грунтовых вод на транспирацию растительностью (K_p), рассчитывается путём преобразования формулы (2.15). С учётом данных по балансу покрытий для II типа застройки (Приложение Г) и учитывая, что в среднем расход на эвапотранспирацию (суммарное испарение и транспирация) с площадей, занятых древесно-кустарниковой растительностью, превышает на 45 % испарение с площадей, лишенных растительности:

$$K_p = 1 + 0,45 s_4^{\text{II}} / (s_3^{\text{II}} + s_4^{\text{II}}) = 1 + 0,45 \times 0,504 / (0,07 + 0,50) = 1,397$$

Расход грунтовых вод в дренажи (D) при глубине залегания уровня грунтовых вод более 3 м для II типа застройки принимается равным нулю.

Тогда индекс водного баланса ландшафта для II типа застройки равен:

$$\begin{aligned} Index^{\text{II}} &= E^{\text{II}} / Q^{\text{II}} = ((P - S) + E_{\text{техн}}) / (W + (U + T)) = \\ &= (1,22 \times 10^{-3} + 1,66 \times 10^{-3}) / (1,18 \times 10^{-3} + 0,28 \times 10^{-3}) = 1,97 > 1 \end{aligned}$$

Условный объём питания превосходит условный потенциал поглощения, значит, инженерное благоустройство II типа застройки в фактическом реальном состоянии относится к типу «B-minus» (с тенденцией на перенасыщение или подтопление).

Расчёт *Index* для III типа застройки

$$Index^{\text{III}} = E^{\text{III}} / Q^{\text{III}} = ((P - S) + E_{\text{техн}}) / (W + (U + T))$$

Величина атмосферных осадков, задерживающихся на исследуемой территории, составляет:

$$(P - S) = P (1 - k) = 2,230 \times 10^{-3} (1 - 0,47) = 1,18 \times 10^{-3} \text{ (м/сут)}$$

Коэффициент поверхностного стока с учётом коэффициента «бессточных участков» по таблице 3.11 для III типа застройки принят равным 0,47.

Техногенная инфильтрация за счёт утечек из подземных коммуникаций и поливных вод:

$$E_{техн} = \omega_e + \omega_k + \omega_m + \omega_n = 1,04 \times 10^{-3} \text{ (м/сут)}$$

Суммарное количество утечек из сетей водопровода (ω_e), канализации (ω_k) и теплосетей (ω_m) по данным Приложения Г для III типа застройки составляет $1,042 \times 10^{-3}$ м/сут.

Инфильтрационная ёмкость грунтов с учётом данных по балансу покрытий для III типа застройки (Приложение Г) принимает вид:

$$W = \omega \times (s_3^{\text{II}} + s_4^{\text{II}} \times 0,5) = 3,7 \times 10^{-3} \times (0,21 + 0,37 \times 0,5) = 1,46 \times 10^{-3} \text{ (м/сут)}$$

Суммарное испарение и транспирация:

$$(U + T) = U_0 K_{э.л.} K_э K_p = 3,492 \times 10^{-3} \times 0,08 \times 0,712 \times 1,288 = 0,26 \times 10^{-3} \text{ (м/сут)}$$

Коэффициент экранирующего эффекта ($K_э$) по таблице 15 [97] равен 0,712, учитывая, что для III типа застройки доля непроницаемых для влаги покрытий (ρ) по данным Приложения Г составляет 0,423.

Коэффициент, учитывающий расход грунтовых вод на транспирацию растительностью (K_p) для III типа застройки:

$$K_p = 1 + 0,45 s_4^{\text{III}} / (s_3^{\text{III}} + s_4^{\text{III}}) = 1 + 0,45 \times 0,369 / (0,21 + 0,37) = 1,288$$

Индекс водного баланса ландшафта для III типа застройки равен:

$$\begin{aligned} Index^{\text{III}} &= E^{\text{III}} / Q^{\text{III}} = ((P - S) + E_{техн}) / (W + (U + T)) = \\ &= (1,18 \times 10^{-3} + 1,04 \times 10^{-3}) / (1,46 \times 10^{-3} + 0,26 \times 10^{-3}) = 1,29 > 1 \end{aligned}$$

Условный объём питания превосходит условный потенциал поглощения, значит, инженерное благоустройство III типа застройки в фактическом реальном состоянии относится к типу «B-minus» (с тенденцией на перенасыщение или подтопление территории).

Расчёт *Index* для IV типа застройки

$$Index^{\text{IV}} = E^{\text{IV}} / Q^{\text{IV}} = (P - S) / (W + (U + T))$$

Величина атмосферных осадков, задерживающихся на исследуемой территории, составляет:

$$(P - S) = P (1 - k) = 2,230 \times 10^{-3} (1 - 0,64) = 0,80 \times 10^{-3} \text{ (м/сут)}$$

Коэффициент поверхностного стока по таблице 3.11 для IV типа застройки принят равным 0,64.

В настоящем расчёте принимается допущение, что утечки из подземных коммуникаций при современной застройке IV типа отсутствуют. Тогда техногенная инфильтрация не учитывается.

Инфильтрационная ёмкость грунтов с учётом данных по балансу покрытий для IV типа застройки (Приложение Г) принимает вид:

$$W = \omega \times (s_3^{\text{II}} + s_4^{\text{II}}) = 3,7 \times 10^{-3} \times (0,11 + 0,26 \times 0,5) = 0,89 \times 10^{-3} \text{ (м/сут)}$$

Суммарное испарение и транспирация:

$$(U + T) = U_0 K_{\text{э.л.}} K_9 K_p = 3,492 \times 10^{-3} \times 0,08 \times 0,542 \times 1,313 = 0,20 \times 10^{-3} \text{ (м/сут)}$$

Коэффициент экранирующего эффекта (K_9) по таблице 15 [97] равен 0,542, учитывая, что для IV типа застройки доля непроницаемых для влаги покрытий (ρ) по данным Приложения Г составляет 0,631.

Коэффициент, учитывающий расход грунтовых вод на транспирацию растительностью (K_p) для IV типа застройки:

$$K_p = 1 + 0,45 s_4^{\text{IV}} / (s_3^{\text{IV}} + s_4^{\text{IV}}) = 1 + 0,45 \times 0,257 / (0,11 + 0,26) = 1,313$$

Приняв расход грунтовых вод в дренажи (D) равным нулю, индекс водного баланса ландшафта для IV типа застройки будет равен:

$$\begin{aligned} Index^{\text{IV}} &= E^{\text{IV}} / P^{\text{IV}} = (P - S) / (W + (U + T)) = \\ &= 0,80 \times 10^{-3} / (0,89 \times 10^{-3} + 0,20 \times 10^{-3}) = 0,74 < 1 \end{aligned}$$

Условный потенциал поглощения превосходит условный объём питания, следовательно, инженерное благоустройство IV типа застройки в фактическом реальном состоянии относится к типу «B-plus» (с тенденцией на иссушение).

Согласно полученным данным, во II и III типах застройки наличие утечек из водонесущих сетей значительно нарушает водобалансовое состояние ландшафта, что подтверждается многолетними данными инженерных изысканий и экспертными опросами специалистов, изложенными в разделе 3.4, согласно которым

в существующей «старой» застройке г. Екатеринбурга наблюдается техногенное подтопление территории. Для IV типа застройки даже при отсутствии дренажных систем наблюдается снижение показателей водного баланса ландшафта (E и Q) по сравнению с естественным состоянием более чем в два раза.

Далее было выполнено математическое моделирование состояния водного баланса застроенного ландшафта по грунтовым условиям. В рассмотрение были взяты ещё четыре формальных состояния геологических условий территории: от крайнего состояния, когда площадка сложена слабофильтрующими грунтами (глины), до площадки с хорошофильтрующими грунтами (песок). В результате были получены значения условного объёма питания, условного потенциала поглощения и $Index$ для различных состояний застроенного ландшафта. Результаты моделирования изменения состояния водного баланса застроенного ландшафта в зависимости от грунтовых условий приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Моделирование состояния водного баланса ландшафта по грунтовым условиям в зависимости от выделенных морфотипов застройки г. Екатеринбурга

$Index = \frac{E}{Q}$	Глина	Суглинок	Суглинок / Супесь	Супесь	Песок
В естеств. состоянии	$1,08 = \frac{2,23}{2,06}$	$1,06 = \frac{2,23}{2,11}$	$1,00 = \frac{2,23}{2,26}$	$0,91 = \frac{2,23}{2,45}$	$0,86 = \frac{2,23}{2,60}$
I тип	$0,91 = \frac{1,58}{1,74}$	$0,89 = \frac{1,58}{1,78}$	$0,83 = \frac{1,58}{1,91}$	$0,76 = \frac{1,58}{2,08}$	$0,72 = \frac{1,58}{2,21}$
II тип	$2,14 = \frac{2,88}{1,35}$	$2,11 = \frac{2,88}{1,37}$	$1,97 = \frac{2,88}{1,46}$	$1,82 = \frac{2,88}{1,58}$	$1,72 = \frac{2,88}{1,67}$
III тип	$1,46 = \frac{2,22}{1,52}$	$1,40 = \frac{2,22}{1,59}$	$1,29 = \frac{2,22}{1,72}$	$1,17 = \frac{2,22}{1,89}$	$1,09 = \frac{2,22}{2,03}$
IV тип	$0,81 = \frac{0,80}{1,00}$	$0,79 = \frac{0,80}{1,02}$	$0,74 = \frac{0,80}{1,08}$	$0,68 = \frac{0,80}{1,18}$	$0,64 = \frac{0,80}{1,25}$

Графически результаты моделирования по типам застройки с учётом границ критического изменения состояния водного баланса ландшафта, приводящего к необратимым последствиям влияния на окружающую среду, приведены на рисунках 4.2–4.6. Из графиков следует, что для застройки I типа, а также для II и III

типа в случае отсутствия утечек из водонесущих сетей соотношение справедливо и разрабатывать компенсационные мероприятия для таких территорий в обязательном порядке не требуется. Для застройки IV типа равенство не выполняется: $Index^{IV} < 1$. В связи с этим необходимо предусмотреть комплекс компенсационных мероприятий «задерживающего» типа.

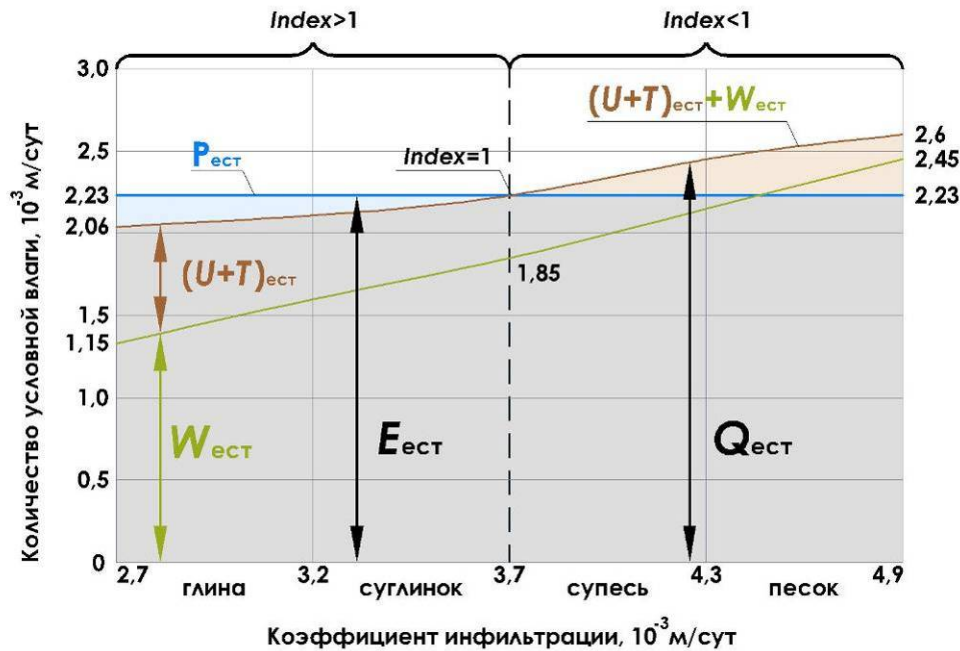


Рисунок 4.2 – Изменение естественного состояния водного баланса ландшафта в зависимости от грунтовых условий

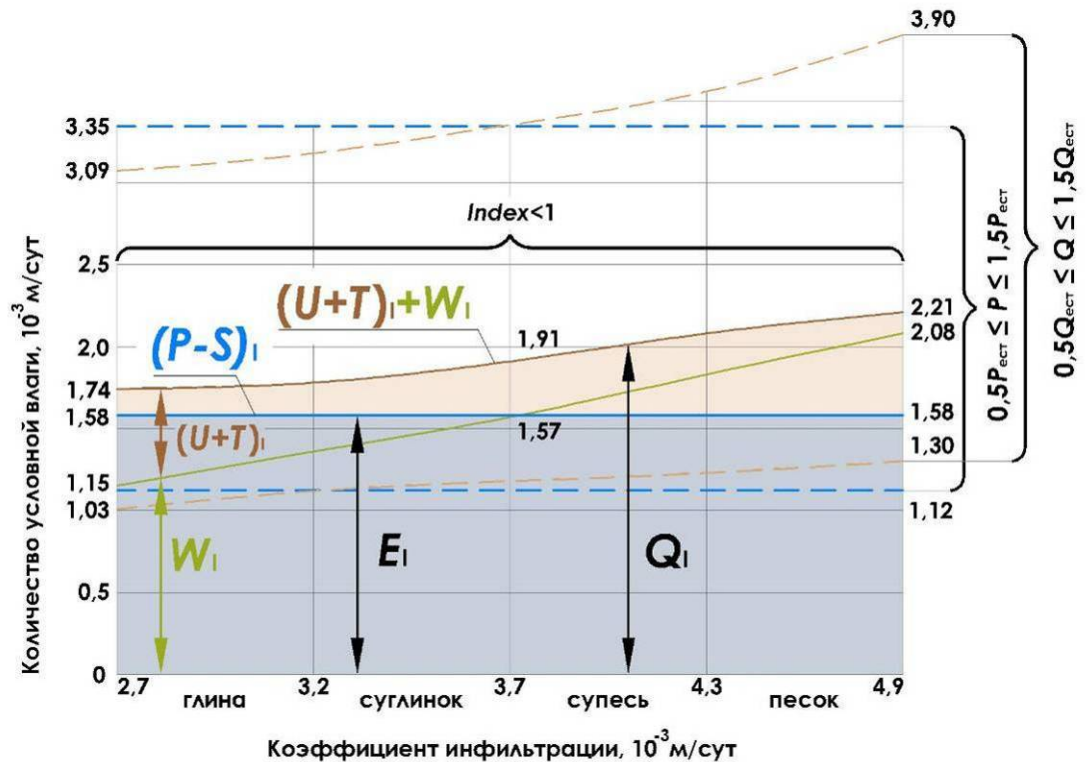


Рисунок 4.3 – Изменение состояния водного баланса ландшафта в зависимости от грунтовых условий для I типа застройки

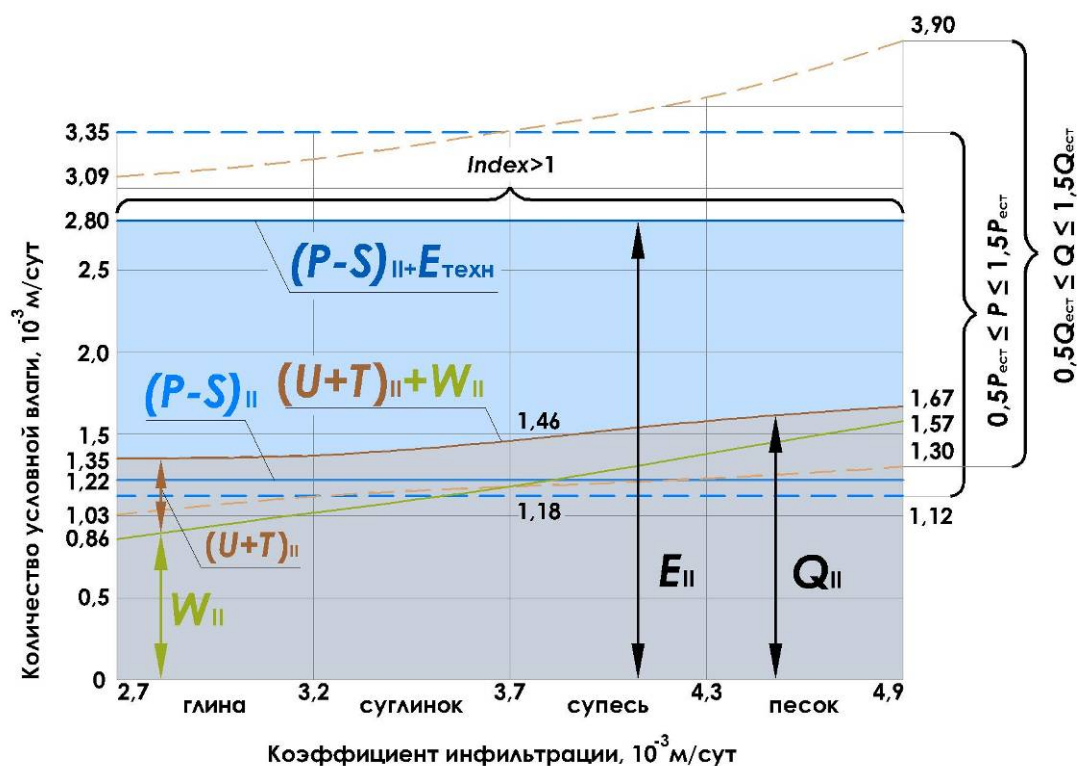


Рисунок 4.4 – Изменение состояния водного баланса ландшафта в зависимости от грунтовых условий для II типа застройки

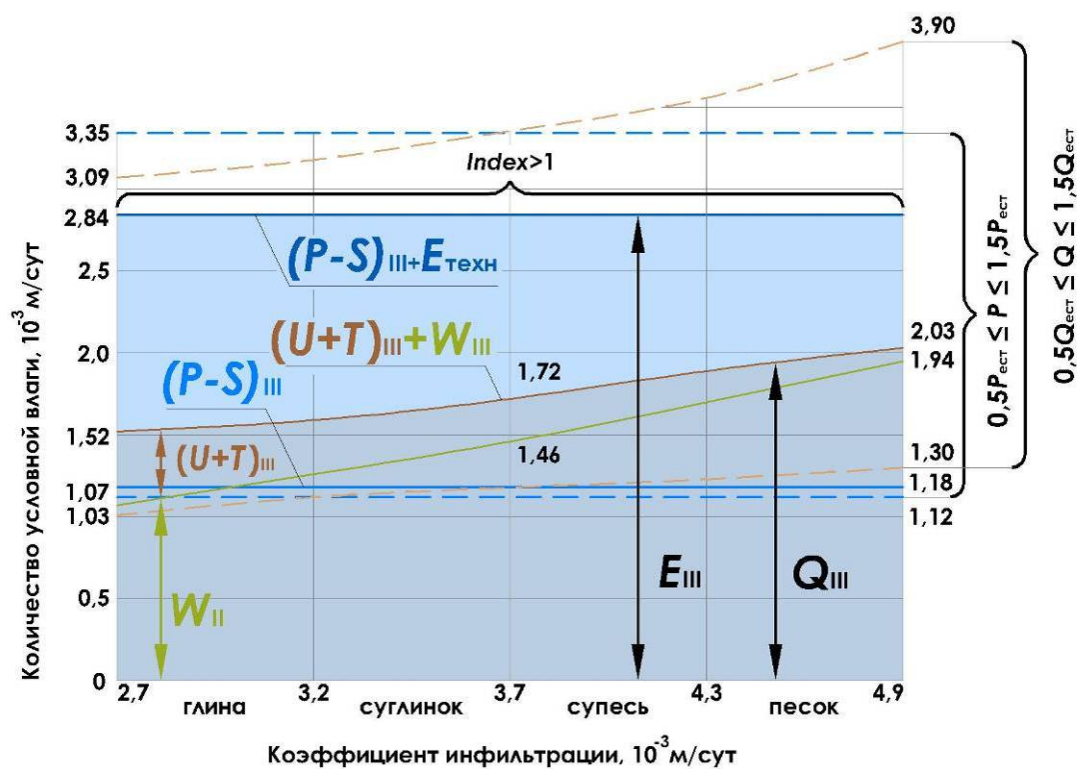


Рисунок 4.5 – Изменение состояния водного баланса ландшафта в зависимости от грунтовых условий для III типа застройки

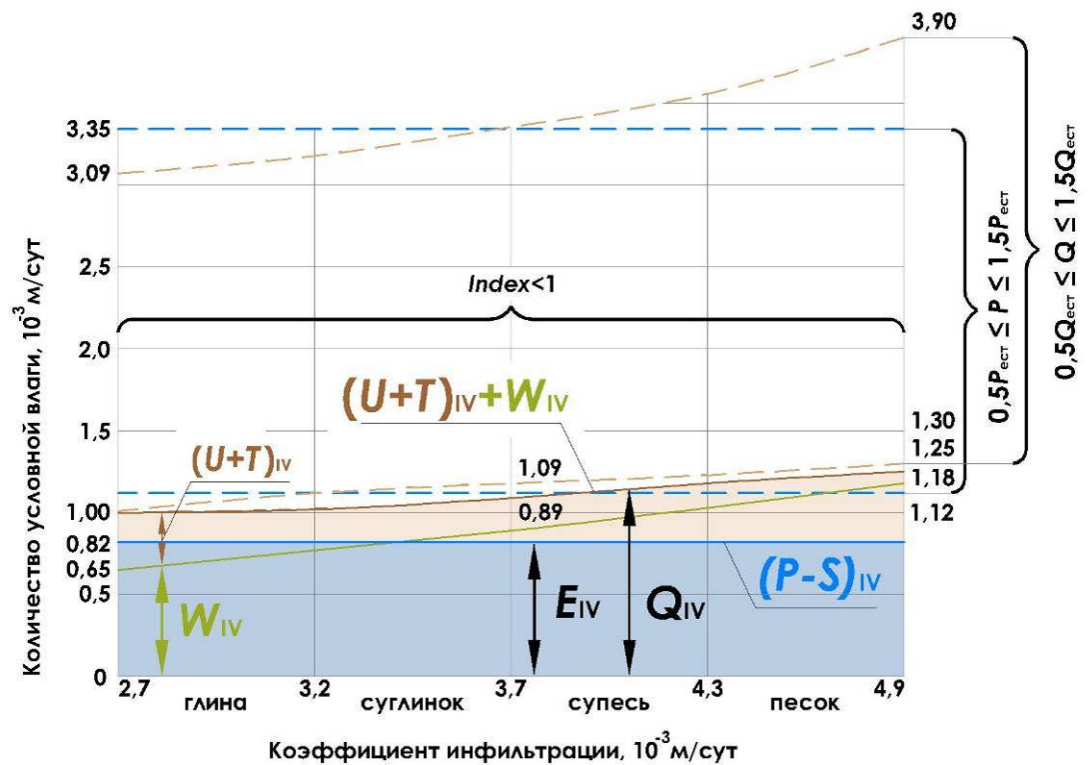


Рисунок 4.6 – Изменение состояния водного баланса ландшафта в зависимости от грунтовых условий для IV типа застройки

Сходимость результатов моделирования существующего состояния водного баланса застроенного ландшафта с реальными данными по существующим объектам по г. Екатеринбургу свидетельствует о том, что предложенная модель состояния водного баланса застроенной территории и методика проектирования инженерного благоустройства, компенсирующего нарушения водного баланса на основе показателя *Index*, могут быть использованы в практической деятельности при разработке рекомендаций по устройству инженерного благоустройства и мероприятий, компенсирующих влияние застройки на водный баланс техногенного ландшафта. Предложенные градостроительные инструменты позволяют принять решение о необходимости применения компенсационных мероприятий при разработке документации по планировке территории, непосредственное проектирование и расчёт компенсационных мероприятий предполагается на более детальных стадиях архитектурно-строительного проектирования. При этом разработка альтернативных систем поверхностного водоотвода на основе предложенной модели и методики может осуществляться как при новом строительстве, так и при реконструкции застроенной территории.

В случае реализации компенсационных устройств «поглощающего» типа предложенная методика позволяет определить количество воды, которое может быть сброшено в эти устройства с последующей инфильтрацией в грунт в зависимости от местных гидрогеологических условий – глубины залегания УГВ, фильтрационных характеристик грунтов, слагающих площадку. Качество же вод, отводимых альтернативными системами водоотвода, должно определяться экологическими нормами, расчётами и обоснованиями.

Следует отметить, однако, что перед введением компенсационных мероприятий в отечественную практику инженерного благоустройства необходимо решить ряд вопросов, касающихся законодательного обоснования строительства этих систем и их обслуживания в период эксплуатации. Эти задачи входят в область последующего исследования [126].

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 4

1. Разработана методика проектирования инженерного благоустройства, компенсирующего нарушения водного баланса на основе показателей условного объёма питания (E), условного потенциала поглощения (Q) и индекса водного баланса ландшафта ($Index$). Полученные в процессе тестового расчета по предложенной методике результаты соответствуют данным многолетних инженерных изысканий и экспертных опросов специалистов.
2. Выполнено моделирование изменения состояния водного баланса застроенного ландшафта для выделенных морфотипов существующей застройки Екатеринбурга в зависимости от грунтовых условий.
3. Предложенная логико-математическая модель состояния водного баланса застроенной территории и методика проектирования инженерного благоустройства, компенсирующего нарушения водного баланса на основе показателя $Index$, могут быть использованы в практической деятельности при разработке проектов планировки территории и выдаче рекомендаций для снижения влияния городской застройки на водный баланс техногенного ландшафта.
4. На основе разработанной методики проектирования инженерного благоустройства, компенсирующего нарушения водного баланса на основе показателя $Index$, и результатов моделирования состояния водного баланса застроенного ландшафта в зависимости от грунтовых условий на стадии архитектурно-строительного проектирования могут быть выполнены непосредственно проектирование и расчёт компенсационных мероприятий – элементов благоустройства, направленных на создание комфортного микроклимата городских территорий с учётом водного баланса техногенного ландшафта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования

Результаты проведенных исследований по проектированию инженерного благоустройства, компенсирующего нарушения водного баланса, позволяют сделать следующие выводы:

1. В результате изучения литературы и существующего состояния инженерного благоустройства в современных городах России и за рубежом сделан вывод о том, что в российской практике инженерное благоустройство направлено исключительно на скорейший отвод поверхностных вод с территории застройки. При этом установлено, что градостроительная деятельность человека оказывает на природный ландшафт масштабное антропогенное влияние, в результате которого застроенные территории подвержены иссушению или переувлажнению (техногенному подтоплению). С учётом современных тенденций следует изменить подход к отводу и выпуску дождевого стока с городской территории. Главным принципом должно стать исключение смешивания условно чистого стока с крыш с поверхностным стоком на покрытиях улиц и проездов, а также максимальное задержание осадков в месте их выпадения путём реализации альтернативных систем поверхностного водоотвода. Для чего следует внедрить (по аналогии с западноевропейской градостроительной практикой) компенсационные мероприятия, которые по характеру действия можно разделить на поглощающие и испаряющие.
2. На основе анализа отечественного и зарубежного опыта проектирования инженерного благоустройства застраиваемых территорий с учётом факторов, влияющих на формирование цикла стока, предложена классификация инженерного благоустройства, а также введён показатель: «индекс водного баланса ландшафта» – *Index*. Показатель *Index* представлен отношением «условного объёма питания» ландшафта к «условному потенциалу поглощения». С помощью этого показателя определяется характер водобалансового состояния ландшафта и, соответственно, тип инженерно благоустройства:

- благоустройство типа: «B-minus» для ландшафтов с тенденцией на перенасыщение (подтопление), значения *Index* более единицы, на территорию поступает больше влаги, чем ландшафт может «поглотить»;
 - благоустройство типа: «B-0» для ландшафтов с тенденцией на стабильное состояние, *Index* равен единице;
 - благоустройство типа: «B-plus» для ландшафтов с тенденцией на иссушение, значения *Index* менее единицы, ландшафт способен «принять» больше влаги, чем на него поступает.
3. Разработана логико-математическая модель состояния водного баланса городской территории, в основе которой лежит предложенный показатель «индекс водного баланса ландшафта», учитывающая влияние и взаимосвязь природных и техногенных факторов, а также допустимые пределы антропогенного изменения окружающей среды.
4. С целью определения количественных показателей техногенных составляющих водного баланса ландшафта были выделены четыре исторически сложившихся морфотипа жилой застройки г. Екатеринбурга:
- индивидуальная и малоэтажная застройка разных периодов;
 - пятиэтажная застройка «первого поколения» («хрущевского» периода) 1960–70-х гг.;
 - многоэтажные (9–16) панельные индустриальные дома «второго и третьего поколения» 1980-х и начала 1990-х гг.;
 - современная многоэтажная застройка начиная с конца 1990-х гг.
- В результате исследования этих четырех типов застройки:
- установлено определённое соотношение баланса поверхностей, при этом полученные зависимости показывают тенденцию увеличения процента «зачеканенных» в асфальт поверхностей в исторической ретроспективе развития города;

- выполнена оценка состояния и качества заасфальтированных плоскостей проезжих частей проездов и тротуаров, введён коэффициент «бессточных участков»;
 - получены усреднённые коэффициенты поверхностного стока;
 - определены объёмы утечек из инженерных сетей в зависимости от усредненной протяженности водонесущих коммуникаций.
5. Разработана методика анализа и прогноза водобалансового состояния инженерного благоустройства городских территорий. Расчёты, выполненные по данной методике, в исходном состоянии «до» и состоянии «после» застройки (проектируемое благоустройство) дают представление о потенциальной степени изменения водного баланса в результате строительства, позволяют оценивать отклонения водобалансового состояния ландшафта от предельно допустимых значений относительно естественного состояния. Методика может быть применена в практической деятельности для реализации альтернативного подхода к проектированию систем инженерного благоустройства с применением мероприятий, компенсирующих влияние застройки территории на водный баланс техногенного ландшафта, при разработке документации по планировке территории.
6. Выполнено моделирование состояний водного баланса техногенного ландшафта для выделенных морфотипов существующей застройки г. Екатеринбурга по грунтовым условиям. Полученные в процессе тестового моделирования результаты соответствуют данным многолетних инженерных изысканий и подтверждаются экспертными опросам специалистов.

Рекомендации

Используя полученную в результате исследования методику можно сделать вывод о необходимости применения компенсационных мероприятий в рамках разработки конкретного градостроительного проекта. На основе выведенного показателя *Index* и результатов моделирования водного баланса может быть запроектировано благоустройство с учётом водного баланса техногенного ланд-

шафта, а также рассчитаны и детально разработаны компенсационные устройства, направленные на создание комфортного микроклимата городских территорий. При этом разработка альтернативных систем поверхностного водоотвода на основе предложенной модели состояния водного баланса застроенной территории и методики проектирования инженерного благоустройства может осуществляться как при новом строительстве, так и при реконструкции уже застроенной территории.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Выводы и результаты исследования, могут стать основой для дальнейшего внедрения в отечественную практику организации дождевого стока с городской территории принципа исключения смешивания условно чистого поверхностного и грунтового стока (сток с крыш, дренажные воды и т.д.) со стоком с покрытий проезжих частей улиц и проездов, а также принципа максимального задержание осадков в месте их выпадения.

Интерес представляет более детальное изучение и более конкретное определение допустимых пределов антропогенного изменения окружающей среды при застройке территории в рамках усовершенствования разработанной логико-математической модели состояния водного баланса городской территории и уточнения лежащего в основе модели показателя «индекс водного баланса ландшафта», учитывающего влияние и взаимосвязь природных и техногенных факторов.

В долгосрочной перспективе результаты исследования могут быть использованы для разработки градостроительного инструментария, направленного на сохранение естественных ландшафтов и стимулирование освоения и застройки в первую очередь бывших промышленных территорий, пустырей и прочих «неудобных» объектов в пределах города.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Владимиров В.В.* Идеи экологии человека в управлении городом. Урбозкология. – М., 1990.
2. *Краснощекова Н.С.* Формирование природного каркаса в генеральных планах городов : учеб. пособие для вузов. – М. : Архитектура-С, 2010. – 184 с.
3. *Azkarate A., Azpeitia A.* Urban Planning and Sustainable Development in The 21st Century, Conceptual and Management Issues // World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS 2016). Conf. Series: Earth and Environmental Science – 44 (2016) 032005.
4. *Коваленко П.П., Орлова Л.Н.* Городская климатология : учеб. пособ. для вузов. – М. : Стройиздат, 1993. – 135 с.
5. *Малоян Г.А.* Основы градостроительства : учеб. пособие. – М. : Изд. Ассоциации строительных вузов, 2004. – 120 с.
6. *Granvik M., Hedfors P.* Evergreen Issues of planning? Learning from history for sustainable urban-rural systems landscapes // European Journal of Spatial Development. – 2015. – Research Briefing, No. 5.
7. *Максимов А.Д., Максимова С.В., Черепанов А.В.* Системное решение экологических проблем региона как инструмент экономического развития // Экология и промышленность России. – 2012. – № 4.
8. *Шнейдмиллер Н.Ф.* Особенности современного представления о взаимосвязи природных и урбанизированных систем // Сборник материалов Всероссийской научной конференции с Международным участием «Теория современного города: Прошлое, Настоящее, Будущее». – Екатеринбург : УралГАХУ, 2016. – С. 32-34.
9. Отчёт по теме: «Сбор и систематизация исходных материалов для обоснования основных положений схемы инженерной защиты территории г. Свердловска от опасных геологических процессов», выполненный Уральским трестом инженерно-строительных изысканий УралТИСИЗ в 1987 г.
10. *Дегтярев Б.М.* Дренаж в промышленном и гражданском строительстве. – М. : Стройиздат, 1990. – 238 с.

11. *Чистякова С.Б.* Охрана окружающей среды : учебник для вузов. Спец. «Архитектура». – М. : Стройиздат, 1988. – 272 с.
12. *Смирнов Р.А., Богданов В.И., Грыза А.А., Солдак А.Г.* Гидрогеологические изыскания на застроенных территориях : практ. пособие. – Киев : Будивельник, 1973. – 148 с.
13. *Абрамов С.К.* Подземные дренажи в промышленном и городском строительстве. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1973. – 280 с.
14. Central Europe Flooding, August 2002. Risk Management Solutions, 2003.
15. Überflutungsvorsorge. StadtKlima: Kommunale Strategien und Potenziale zum Klimawandel. ExWoSt-Informationen 39/4 – 04/2013.
16. *Nefedov V., Štiglic M.* Trends of industrial territories transformation and their manifestation in Saint Petersburg // World Applied Sciences Journal 23 (Problems of Architecture and Construction): 70–73, 2013.
17. *Nefedov V.* The Landscape After: approach of Landesgartenschau to reconstruct postindustrial territories // Landscape Architecture and Art, the Latvia University of Agriculture. – Vol. 3, No. 3: 5–13. – 2013.
18. *Нефёдов В.А.* Ландшафтный дизайн и устойчивость среды. – СПб., 2002. – 295 с.
19. *Нгуен Н.Н.* Методы ландшафтно-экологической реконструкции промышленных зон г. Тхайнгуен (Вьетнам) : дис. ... канд. арх.: 05.23.22 / Нгуен Нгок Ньонг. – СПб., 2015.
20. *Сольский С.В.* Вторичное освоение техногенно-нагруженных территорий. Проблемы и решения. – СПб. : Изд. ОАО «ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева», 2011.
21. Activities of the European Union on sustainable urban development. A brief overview. Rein Zwart, Ries Kamphof, Koen Hollander, Anneloes van Iwaarden / European Metropolitan network Institute. 2012.
22. *Stigsdotter U.A.* Landscape Architecture and Health – Evidence-based health-promoting design and planning: Doctor's dissertation / University of Copenhagen. – 2005.

23. Flächenbilanz Biotoptypen innerhalb des Bebauungsplangebietes / in Anlehnung an LUBW / Breuning, 2005.
24. Arten, Biotope, Landschaft. Schlüssel zum Erfassen, Beschreiben, Bewerten / LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. Referat 25 – Arten- und Flächenschutz, Landschaftspflege. Dezember 2009.
25. Fachplan Landesweiter Biotopverbund. Arbeitshilfe / LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg – Juli 2014.
26. *Vogel P., Breunig T.* Bewertung der Biotoptypen Baden-Württembergs zur Bestimmung des Kompensationsbedarfs in der Eingriffsregelung // Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg – 2005.
27. *Qianqian Z.* A Review of Sustainable Urban Drainage Systems Considering the Climate Change and Urbanization Impacts // *Water* 2014, 6, 976–992; doi:10.3390/w6040976.
28. Water sensitive urban design principles and inspiration for sustainable stormwater management in the city of the future / J. Hoyer, W. Dickhaut, L. Kronawitter, B. Weber. Hamburg, 2011.
29. General technical approvals for decentralised sustainable urban drainage systems (SUDS) – The current situation in Germany / Dierkes C., Lucke T., Helmreich B. // *Sustainability* 2015, 7, 3031–3051; doi:10.3390/su7033031.
30. Sustainable Drainage Systems (SUDS). Environment Agency, England, 2008.
31. Constructed wetlands and links with sustainable drainage systems. R&D Technical Report P2-159/TR1. J. B. Ellis, R.B.E. Shutes and M.D. Revitt, Environment Agency 2003.
32. Come rain or shine London's adaptation to the risks of severe weather. Environment Committee. London Authority, March 2015.
33. Hulevesiopas. Kuntaliitto kommunförbundet / Suomen Kuntaliitto, Helsinki – 2012.
34. Storm-water management in Malmö and Copenhagen with regard to climate change scenarios / Haghighatafshar S., Jansen J., Aspegren H., Lidström V.,

- Mattsson A., Jönsson K. // VATTEN – Journal of Water Management and Research 70:159–168. Lund, 2014.
35. *Stahre P.* Sustainability in Urban Storm Drainage: Planning and Examples. Svenskt Vatten, 2006.
 36. *Stahre P.* Blue-green fingerprints in the city of Malmo, Swede. Malmo's way towards a sustainable urban drainage. – VA SYD, 2008.
 37. *Jacobs E.* Seven revolutions to sustainable urban drainage // 11th International Conference on Urban Drainage. – Edinburgh, Scotland, UK, 2008.
 38. Integrated Urban Stormwater Management in Norway – Best Management Practices (BMPs) in cold climate / Niel L., Lindholm O.G., Åstebøl S.O., Sægrov S., Thorolfsson S. // 12nd International Conference on Urban Drainage. – Porto Alegre, Brazil, 10–15 September 2011.
 39. Urban drainage in specific climates. Vol. 2. Urban drainage in cold climates / Saegrov S., Milina J., Thorolfsson S.T. // Technical Documents in Hydrology, No. 40, Vol. 2, UNESCO, Paris, 2000.
 40. *Thorolfsson S.T.* Stormwater Management in Cold Climate. Urban Flooding, Planning for blue and green city. Malmo, Sweden, 2012.
 41. Wassergesetz für Baden-Württemberg vom 01.01.1999, GBl.S.1., 6. Abschnitt, Abwasserbeseitigung, § 45b Verpflichtung zur Beseitigung.
 42. *Гиясов Б.И.* Влияние развития инфраструктуры городов на жилую среду // Вестник МГСУ. – 2012. – № 4. – с. 17–21.
 43. *Евтушенко М.Г., Гуревич Л.В., Шафран В.Л.* Инженерная подготовка территорий населенных мест. – М. : Стройиздат, 1982. – 208 с.
 44. *Моисеев В.Ю., Побегайло И.М., Сидорчук В.Н., Пинчук В.Я., Дмитренко Т.Д.* Инженерная подготовка застраиваемых территорий. – Киев : Будивельник, 1974. – 276 с.
 45. *Глазычев В.Л., Егоров М.М., Ильина Т.В.* Городская среда. Технология развития : настольная книга. – М. : Изд. Лады, 1995. – 240 с.
 46. *Большаков А.Г.* Градостроительная организация ландшафта как фактор устойчивого развития территории : дис. ... докт. арх. : 18.00.01 / Большаков Андрей Геннадьевич. – Иркутск, 2003.

47. *Большаков А.Г.* Экологические предпосылки градостроительного проектирования : монография. – Иркутск : ИГТУ, 2003. – 36 с.
48. *Большаков А.Г.* Экологические основы градостроительства : учебное пособие. – Иркутск : ИПИ, 1991. – 112 с.
49. *Большаков А.Г.* Ландшафтная планировка устойчивого развития в окружающей среде : учебное пособие. – Иркутск : ИГТУ, 2000. – 167 с.
50. *Большаков А.Г.* Восстановление нарушенных и деградированных территорий. История авторского метода геопластики // *Architecture and Modern Information Technologies*. – М. : МАрхИ, 2015. – № 2(31). – С. 15.
51. *Большаков А.Г., Черепанов К.А.* Методика выбора параметров застройки города на основе оценки экологических режимов элементов форм городского рельефа // *Жилищное строительство*. – М. : Стройматериалы, 2014. – № 1-2. – С. 32-37.
52. *Большаков А.Г.* Основы теории устойчивого развития территории / *Вестник Иркутского государственного технического университета*. – Иркутск : ИРНИТУ, 2003. – № 1(13). – С. 110-115.
53. *Большаков А.Г.* Ландшафтный ресурс устойчивого развития территории в градостроительстве // *Архитектура. Строительство. Дизайн*. – М. : Международная ассоциация союзов архитекторов, 2002. – № 4. – С. 41-44.
54. *Сольский С.В., Гордиенко С.Г., Николайчук Е.В., Орищук Р.Н., Крит П.И.* Инженерно-экологическая подготовка территорий под жилую застройку // *Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева*. – 2003. – Т. 242.
55. *Сольский С.В.* Методы и практика инженерно-экологической подготовки техногенно-нагруженных территорий // *Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева*. – 2007. – Т. 246.
56. *Клиорина Г.И.* Дренаж территории застройки : учеб. пособие для студ. строит. спец. – СПб. : СПбГАСУ, 2006. – 207 с.
57. *Клиорина Г.И.* Особенности геотехнического водоотведения при строительстве новых и эксплуатируемых зданий // *Реконструкция исторических городов и геотехническое строительство : тр. междунар. конф.* – СПб. : НПО «Геореконструкция-Фундаментпроект», 2003. – Т. 11.

58. *Клиорина Г.И.* Дренирование объектов большой площади // ж. «Мир Строй-индустрии». – СПб., 2004.
59. *Клиорина Г.И.* Совершенствование методов оценки эффективности систем водопонижения // Архитектура – строительство – транспорт : материалы 72-й науч. конф. профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета (5-7 октября 2016 г.). – СПб. : СПбГАСУ, 2016. – Ч. 1. Архитектура и строительство.
60. *Клиорина Г.И., Лапина М.С., Канцибер Ю.А., Штыков В.И.* Оценка водного режима грунтов при обосновании защиты от подтопления территории электрических подстанций // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. – 2012. – Т. 266.
61. *Клиорина Г.И., Лапина М.С.* Системы водообустройства на территориях с распространением хорошо фильтрующих приповерхностных грунтов // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. – 2014. – Т. 271.
62. *Антолик О.М., Сологаев В.И.* Проблемы проектирования дренажных сооружений // Вестник Омского государственного аграрного университета. – Омск : ОмГАУ, – 2014.
63. *Сологаев В.И.* Фильтрационные расчеты и компьютерное моделирование при защите от подтопления в городском строительстве : монография. – Омск : СибАДИ, – 2002. – 416 с.
64. *Сологаев В.И.* Защита от подтопления в городском строительстве. Устройство и работа : учеб. пособ. – Омск : Авторская редакция, – 2016, – 56 с.
65. *Сологаев В.И.* Прогнозы и моделирование подтопления и дренирования в городском строительстве : дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.16 / Сологаев Валерий Иванович. – Омск, 2003.
66. *Дивакова М.Н.* Приемы ландшафтной архитектуры для создания устойчивого природного каркаса современного крупного постпромышленного города на среднем Урале / Современные проблемы науки и образования. – Пенза : Изд. Дом "Академия Естествознания", 2015. – 871 с.
67. *Дивакова М.Н.* Ландшафтные приемы для создания устойчивой системы зеленых насаждений в городах и населенных пунктах среднего Урала // Новые

- идеи нового века : материалы междунар. науч. конф. ФАД ТОГУ. – Хабаровск : ТОГУ, 2015.
68. *Губанкова М.Л., Ламанова Р.В.* Особенности формирования антропогенных модификаций естественных ландшафтов Урала // Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции «Наука, Образование, Общество: проблемы и перспективы развития». – Тамбов : Консалтинговая компания Юком, 2014. – С. 31-33.
 69. *Красильникова Э.Э.* Ландшафтный урбанизм. Теория-Практика. Ч. I : Научные и практические основы ландшафтного урбанизма. – Волгоград : ИАА «Обл. вести», 2015. – 156 с.
 70. *Красильникова Э.Э., Русанов В.А., Кузина Л.А.* Современные тенденции формирования гибких и устойчивых жилых образований // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. / Сер. Строительство и архитектура. – 2014. – Вып. 36 (55).
 71. *Красильникова Э.Э.* Ландшафтный урбанизм: новый взгляд на старую проблему [Электронный ресурс] // Зеленый город. – 2014. – № 4 (11). – URL: <http://green-city.su/landshaftnyj-urbanizm-novyj-vzglyad-na-staruyu-problemu/>.
 72. *Беляев А.А.* Сохранение элементов естественного ландшафта при освоении жилых территорий (применительно к плоским переувлажненным участкам лесных комплексов Среднего Приобья) : дис. ... канд. техн. наук: 05.23.12 / Беляев Анатолий Аркадьевич. – Свердловск, 1973.
 73. *Владимиров В.В., Микулина Е.М., Яргина З.Н.* Город и ландшафт : (проблемы, конструктивные задачи и решения). – М. : Мысль, 1986. – 238 с.
 74. *Владимиров В.В., Давидянец Г.Н., Расторгуев О.С., Шафран В.Л.* Инженерная подготовка и благоустройство городских территорий. – М. : Архитектура-С, 2004. – 240 с.
 75. *Глазычев В.Л.* Социально-экологическая интерпретация городской среды. – М. : Наука, 1984.
 76. *Шестернева Н.Н., Гаврилов Г.М., Саранцева В.П.* Основные принципы формирования системы зеленых насаждений в центральных районах крупного

- города (на примере Санкт-Петербурга) // Промышленное и гражданское строительство. – 2006. – №1. – С. 15–16.
77. *Губанкова М.Л., Ламанова Р.В.* Компенсационные территории в озеленении городов // Вестник научных конференций. – Тамбов : Консалтинговая компания Юком, 2016. – № 6-2 (10). – С. 24-26.
 78. *Бакутис В.Э., Бутягин В.А., Луниц Л.Б.* Инженерное благоустройство городских территорий. – М. : Стройиздат, 1971. – 225 с.
 79. *Краснощекова Н.С., Чистякова С.Б.* Озеленение и микроклимат южных городов. – М.: ЦНИИП Градостроительства, 1968.
 80. *Горохов В.А., Луниц Л.Б., Расторгуев О.С.* Инженерное благоустройство городских территорий : учеб. пособие для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1985. – 389 с.
 81. *Бутягин В.А.* Планировка и благоустройство городов : учебник для вузов. – М. : Стройиздат, 1974. – 381 с.
 82. *Горохов В.А.* Городское зеленое строительство : учеб. пособие для вузов. – М. : Стройиздат, 1991. – 416 с.
 83. *Садковская О.Е.* Экологические кластеры – новая форма благоустройства городов [Электронный ресурс] // Архитектон: известия вузов. – 2012. – № 38.
 84. *Клиорина Г.И., Осин В.А., Шумилов М.С.* Инженерная подготовка городских территорий : учебник для студ. вузов по спец. «Городское строительство». М. : Высш. шк., 1984. – 271 с.
 85. Рекомендации по расчёту систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. (Дополнения к СП 32.13330.2012 «Канализация. Наружные сети и сооружения»). – М. : ОАО «НИИ ВОДГЕО», 2014. – 88 с.
 86. Прогнозы подтопления и расчёт дренажных систем на застраиваемых и застроенных территориях / Комплексн. науч.-исслед. и конструкт.-технолог. ин-т водоснабжения, канализации, гидротехн. сооружений и инж. гидрологии. – М. : Стройиздат, 1991. – 272 с. (Справ. пособие к СНиП).

87. **Тиганова И.А.** Техногенное влияние жилой застройки на естественное состояние территорий //Строительство и образование : сб. науч. тр. – Екатеринбург : УрФУ, 2012. – № 15.
88. **Дегтярев Б.М., Дзекцер Е.С., Муфтахов А.Ж.** Защита оснований зданий и сооружений от воздействия подземных вод. – М. : Стройиздат, 1985. – 264 с.
89. Справочник по гидравлическим расчетам / под редакцией Киселева П.Г. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергия, 1972. – 312 с.
90. **Поляков А.В.** Водоотвод и дренаж на аэродромах. – Л. : ЛВИКА им. А.Ф. Можайского, 1966. – 471 с.
91. **Абрамов С.К.** Кольцевые дренажи в промышленном и городском строительстве. – М. : Изд. литературы по строительству, 1971. – 186 с.
92. **Шауфлер В.Г.** Метод локального поверхностного водоотвода с бессточных территорий населенных мест : дис. ... канд. техн. наук: 18.00.04 / Шауфлер Виктор Гугович. – М., 1989.
93. **Тиганова И.А., Епифанова А.С.** Современное состояние и тенденции в организации поверхностного водоотвода в России и за рубежом //Современные тенденции развития городских систем : материалы Междунар. науч. конф., посвящ. 135-летию со дня рождения проф., основателя уральской архитектурной школы К.Т. Бабыкина (22–23 октября 2015 г.) / под ред. С.П. Постникова, Ю.С. Янковской, Е.Ю. Витюк. – Екатеринбург : Архитектон, 2015. – С. 202–204.
94. **Нойферт П., Нефф Л.** Проектирование и строительство. Дом, квартира, сад : пер. с нем. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Архитектура-С, 2005. – 264 с.
95. **Рандольф Р.** Что делать со сточными водами / пер. с нем. И.Б. Палееса ; под ред. Карюхиной Т.А. – 2-е изд., доп. – М. : Стройиздат, 1987. – 120 с.
96. **Тиганова И.А.** Влияние инженерного обеспечения застраиваемых территорий на водный баланс техногенных ландшафтов [Электронный ресурс] //Архитектон: известия вузов. – 2012. –№ 3(39). – С. 136-140. – URL: http://archvuz.ru/2012_3/13.

97. *Куранов Н.П., Коринченко И.В.* Рекомендации по оценке величины дополнительного инфильтрационного питания грунтовых вод при техногенном подтоплении территорий промышленной и селитебной застройки. – М. : ДАР/ВОДГЕО, 2008. – 70 с.
98. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83) / НИИОСП им. Герсевича. – М. : Стройиздат, 1986. – 415 с.
99. *Беховых Л.А., Макарычев С.В., Шорина И.В.* Основы гидрофизики : учеб. пособие. – Барнаул : Изд-во АГАУ, 2008. 172 с.
100. Concise Hydrology. Dawei Han & Ventus Publishing ApS. Bristol – 2010.
101. *Кахраманова Ш.Ш.* Моделирование в градостроительстве и экологии // Вестник ТГАСУ. – 2012. – № 1.
102. *Ponce V.M., Shetty A.V.* A conceptual model of catchment water balance: 1. Formulation and calibration // J. of Hydrology. – 1995. – № 173.
103. *Brocca L., Melone F., Moramarco T.* Distributed rainfall-runoff modelling for flood frequency estimation and flood forecasting // Hydrological processes. – 2011. – № 25, – p. 2801–2813.
104. *Золотарь И.А., Пузаков Н.А., Сиденко В.М.* Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд. – М. : Транспорт, 1971. – 416 с.
105. *Ретхати Л.* Грунтовые воды в строительстве / пер. с англ. Махлина В.З. и Ярцева Н.А. ; под ред. Кирюхина В.А. – М. : Стройиздат, 1989. – 432 с.
106. *Калицун В.И.* Водоотводящие системы и сооружения : учебник для вузов. – М. : Стройиздат, 1987. – 336 с.
107. Методика расчета объемов организованного и неорганизованного дождевого, талого и дренажного стока в системы коммунальной канализации. – СПб. : Экология и право, 2000. – 52 с.
108. Руководство по проектированию водоотвода и дренажа на летных полях аэродромов / Гос. проект.-изыскат. и науч.-исслед. ин-т Аэропроект. – М., 1982.
109. *Королёв В.А., Блудушкина Л.Б.* Взаимосвязь потенциала влаги в грунтах с параметрами испарения из них воды // Инженерная геология. – 2015. – № 3.

110. Альбом типовых решений № 84. «Дренажи для осушения городских территорий и защиты подземных сооружений», разработанный Мосинжпроект в 1963 г.
111. **Тиганова И.А.** Индекс водного баланса застраиваемой территории // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2013. – № 4 – С. 30-32.
112. **Лыжин С.М.** Интрига жилища. – Екатеринбург : Изд. дом «Филантроп», 2005. – 192 с.
113. **Лыжин С.М.** Особенности методологии оценки жилищного фонда города (Екатеринбурга-Свердловска) [Электронный ресурс] // Архитектон: известия вузов. – 2006. – № 3 (15). – URL: http://archvuz.ru/2006_3/12.
114. **Степанов В.К., Великовский Л.Б., Тарутин А.С.** Архитектура гражданских и промышленных зданий. Основы планировки населенных мест : учебник для студ. вузов по спец. «Промышленное и гражданское строительство». – М. : Высш. шк., 1985. – 192 с.
115. Генеральный план развития городского округа – муниципального образования «город Екатеринбург» на период до 2025 года, утвержденный решением Екатеринбургской городской думы от 06.07.2004 г. № 60/1.
116. **Лыжин С.М.** Принципы и особенности формирования структуры жилищного фонда крупнейшего города (на примере г. Екатеринбурга) [Электронный ресурс] // Архитектон: известия вузов. – 2010. – № 32. – URL: http://archvuz.ru/2010_4/8.
117. СТП ВНИИГ 210.01.НТ-05 «Методика расчета гидрологических характеристик техногенно-нагруженных территорий», утверждённый ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», протокол № 7 от 25.11.2005. – СПб., 2005.
118. Arbeitsmaterialien zur Erstellung des Umweltberichtes. Grünflächenamt der Stadt Heilbronn, 2000.
119. **Сольский С.В., Самофалов Д.П., Маркелова Т.Г.** Определение коэффициентов поверхностного стока для некоторых видов поверхностей техногенно-нагруженной территории // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. – 2009. – Т. 253.

120. **Тиганова И.А.** Водонепроницаемые покрытия: эволюция инженерного благоустройства города [Электронный ресурс] //Архитектон: известия вузов. – 2015. – № 3 (51). – URL: http://archvuz.ru/2015_3/8.
121. **Батракова Л.Г.** Теория статистики : учеб. пособие. – М. : КНОРУС, 2010. – 528 с.
122. **Тиганова И.А., Ведерников А.А.** Исследование техногенных факторов, влияющих на поддержание естественного водно-теплового баланса и создание комфортного микроклимата городской среды (на примере города Екатеринбурга) // Строительство – формирование среды жизнедеятельности : материалы XVII Междунар. межвуз. науч.-практ. конф. студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. – М. : МГСУ, 2014. – С. 150-160.
123. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Гидрометеиздат, – Л. : 1990. – Ч. 1–6. Вып. 9, 17.
124. **Гуляев А.Н., Осипова А.Ю.** Неблагоприятные факторы, действующие со стороны активного слоя земной коры на инженерные сооружения Екатеринбурга [Электронный ресурс] //Архитектон: известия вузов. – 2012. – № 2 (38). – URL: http://archvuz.ru/2012_2/9.
125. Федеральный закон от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
126. **Тиганова И.А., Ведерников А.А., Рязанова Е.Д.** «Зеленое строительство» как инструмент градостроительного регулирования // Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур : Сб. материалов междунар. конф. – Екатеринбург : УрФУ, 2015. – С. 173-176.



Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н.Ельцина» (УрФУ)

ул. Мира, 19, Екатеринбург, 620002,
факс: +7 (343) 375-97-78; тел.: +7 (343) 374-38-84
контакт-центр: +7 (343) 375-44-44, 8-800-100-50-44 (звонок бесплатный)
e-mail: rector@urfu.ru, www.urfu.ru
ОКПО 02069208, ОГРН 1026604939855, ИНН/КПП 6660003190/667001001

19.08.2016 № 01.03-07/240
На № _____ от _____

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационной работы на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Тигановой Ирины Александровны

- Место внедрения:** г.Екатеринбург, ФГАО ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»
- Предмет внедрения:** Методика проектирования инженерного благоустройства с применением компенсационных мероприятий, учитывающая техногенное влияние существующего градостроительного окружения на водно-тепловой баланс вновь застраиваемых территорий.
- Результат внедрения:** Разработанная автором методика проектирования инженерного благоустройства, с применением компенсационных мероприятий, восстанавливающих водно-тепловой баланса ландшафта внедрена в учебный процесс в ФГАО ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» при чтении курсов лекций, в курсовом и дипломном проектировании по направлению 08.03.01 «Строительство» образовательная программа «Городское строительство и хозяйство».

Проректор по учебной работе

Зав. кафедрой Городского строительства



С.Т. Князев

А.М. Гончаров



**АДМИНИСТРАЦИЯ
ГОРОДА ЕКАТЕРИНБУРГА**

**ДЕПАРТАМЕНТ АРХИТЕКТУРЫ,
ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА
И РЕГУЛИРОВАНИЯ
ЗЕМЕЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЙ**

**Муниципальное бюджетное
учреждение**

**МАСТЕРСКАЯ
ГЕНЕРАЛЬНОГО ПЛАНА**

пер. Банковский, 1, г. Екатеринбург, 620014
Тел. 354-55-34, факс 354-56-22
E-mail: mbumgp@mail.ru
<http://екатеринбург.рф>

19.10.2016	№	21.2-0/546
На №	от	

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационной работы на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Тигановой Ирины Александровны

Настоящим подтверждаем, что результаты диссертационного исследования Тигановой И.А. на тему: «Благоустройство городских территорий с учётом водного баланса техногенного ландшафта (на примере г. Екатеринбурга)» актуальны и представляют практический интерес в области создания комфортной городской среды по средствам регулирования микроклимата в жилой застройке как при развитии застроенных территорий, так и при новом строительстве на свободных площадках.

Наибольший практический интерес для МБУ «Мастерская генерального плана» представляют:

- методика проектирования инженерного благоустройства, с применением компенсационных мероприятий, восстанавливающих водный баланс ландшафта;
- новый градостроительный показатель – «индекс водного баланса ландшафта»;
- исследование техногенного влияния сложившегося градостроительного окружения на водный баланс городских территорий, определение качественных и количественных характеристик.

Методика анализа и прогноза водобалансового состояния инженерного благоустройства городских территорий использовалась при разработке градостроительной документации для города Екатеринбурга.

Начальник



Р.Г. Габдрахманов



ООО «Проектная мастерская «Исеть»
620142, г. Екатеринбург,
ул. Большакова, д. 61, оф. 408

тел.: (343) 257-74-70 факс: (343) 251-06-43

Исх. № от 20 октября 2016 г.
На исх.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ
результатов диссертационной работы на соискание ученой степени
кандидата технических наук
Тигановой Ирины Александровны

Настоящим актом подтверждаю, что результаты диссертационной работы «Благоустройство городских территорий с учётом водного баланса техногенного ландшафта (на примере г. Екатеринбурга)» были использованы при разработке мероприятий по инженерной подготовке территории микрорайона «Мичуринский» в Верх-Исетском районе г. Екатеринбурга, комплексной застройки в районе «Новокольцовский» в г. Екатеринбурге и жилой застройки в районе д. Коптяки ГО Среднеуральск.

Разработанная градостроительная типология методов инженерного благоустройства территорий и методика оценки влияния техногенной среды на естественный водный баланс территории с помощью формализованного градостроительного показателя «индекс водного баланса ландшафта» позволяют определить характер и объём компенсационных мероприятий для поддержания благоприятного состояния водно-теплового баланса ландшафта и принять наиболее рациональные решения по инженерной подготовке территории.

Директор



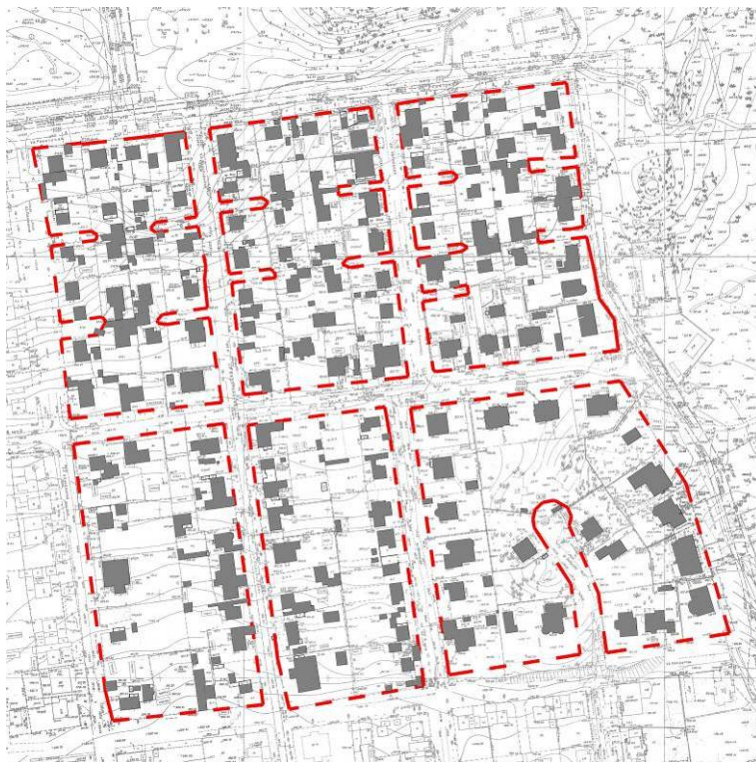
Д. Л. Морозов



**Рисунок 1. Картографическое обследование застройки I типа
ул. Матросская – пер. Крутихинский – Уткинская – Воронина**



**Рисунок 2. Картографическое обследование застройки I типа
ул. Викулова – Коперника – Краснокамская – Отрадная**



**Рисунок 3. Картографическое обследование застройки I типа
ул. Волжская – Байдукова – Каманина – Решетская**



**Рисунок 4. Картографическое обследование застройки I типа
ул. Техническая – Матросская – Воронина – Белякова**



**Рисунок 5. Картографическое обследование застройки I типа
ул. Репина – Коперника – Викулова – Отрадная**



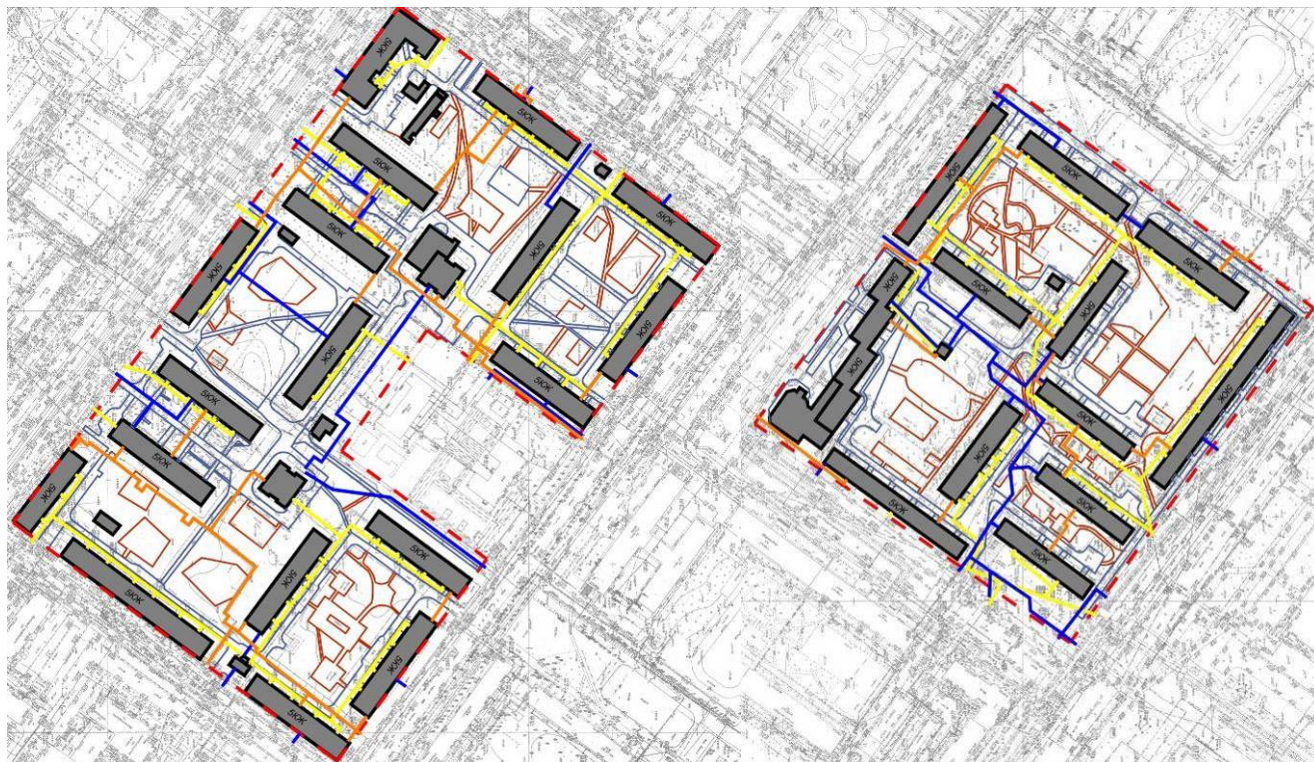
**Рисунок 6. Картографическое обследование застройки I типа
ул. Байдукова – Леваневского – Решетская – Каманина**



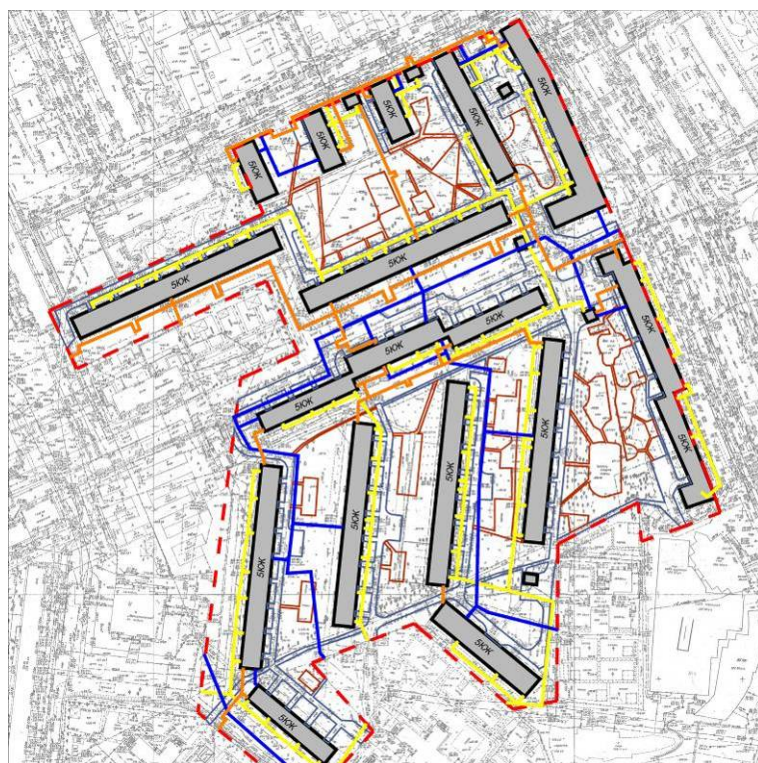
**Рисунок 7. Картографическое обследование застройки II типа
ул. Малышева – Московская – пр. Ленина – Шейнкмана**



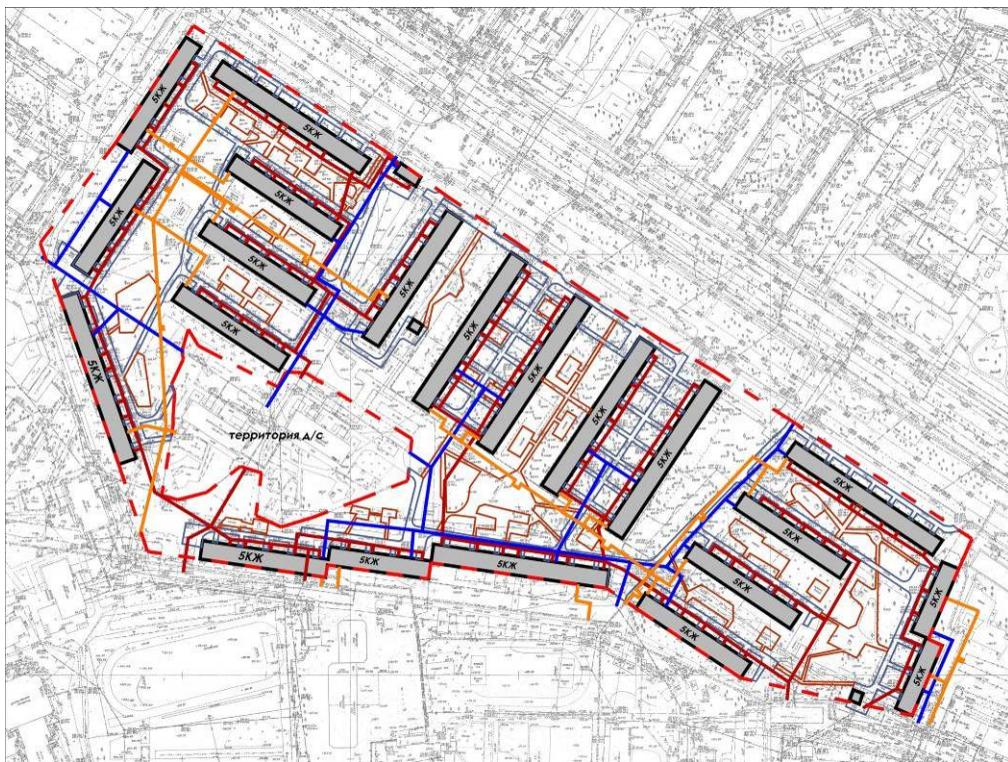
**Рисунок 8. Картографическое обследование застройки II типа
ул. Крауля – Викулова**



**Рисунок 9. Картографическое обследование застройки II типа
ул. Таватуйская – Надеждинская – Техническая – Сортировочная**



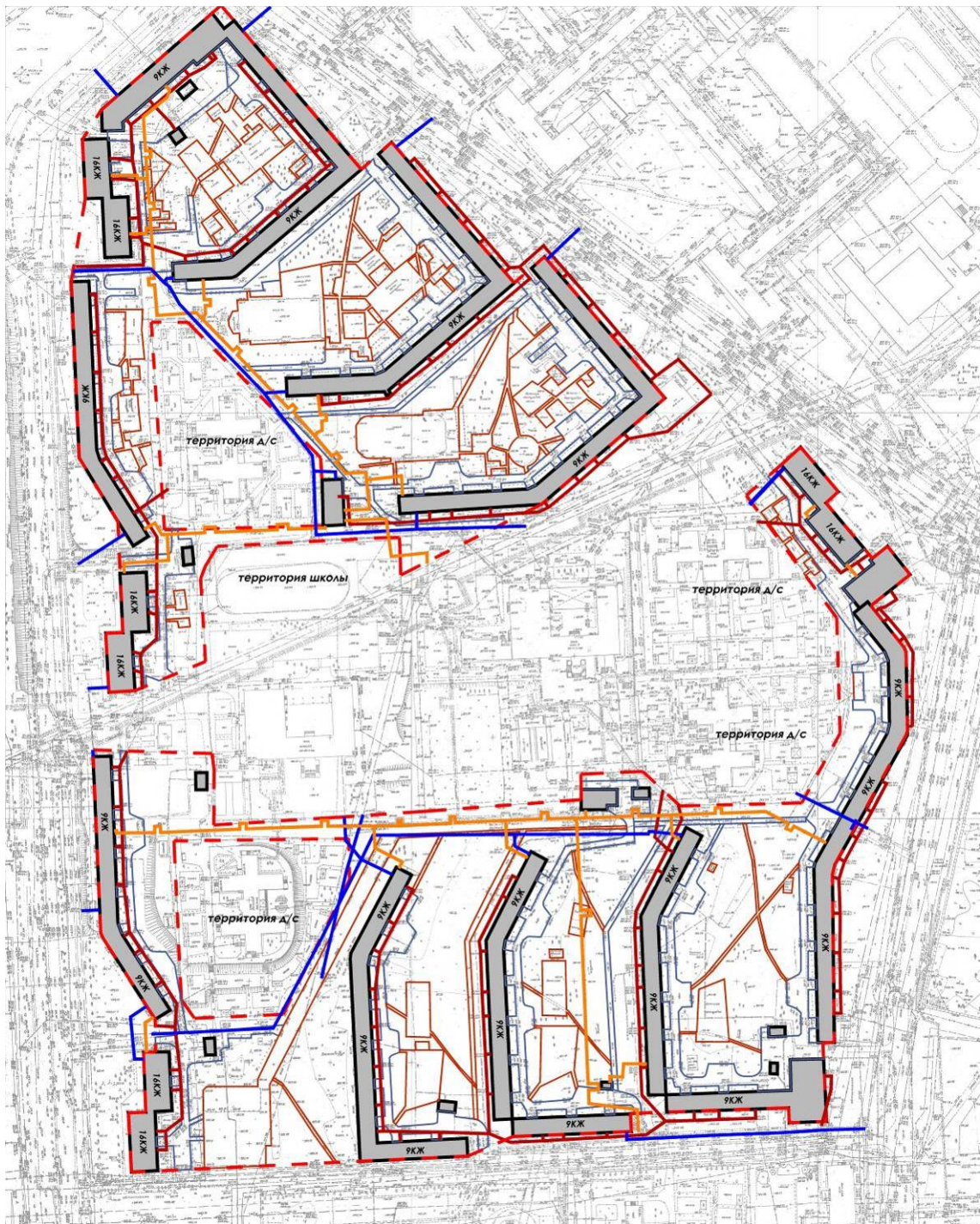
**Рисунок 10. Картографическое обследование застройки II типа
ул. Белинского – Фучика – пер. Трактористов**



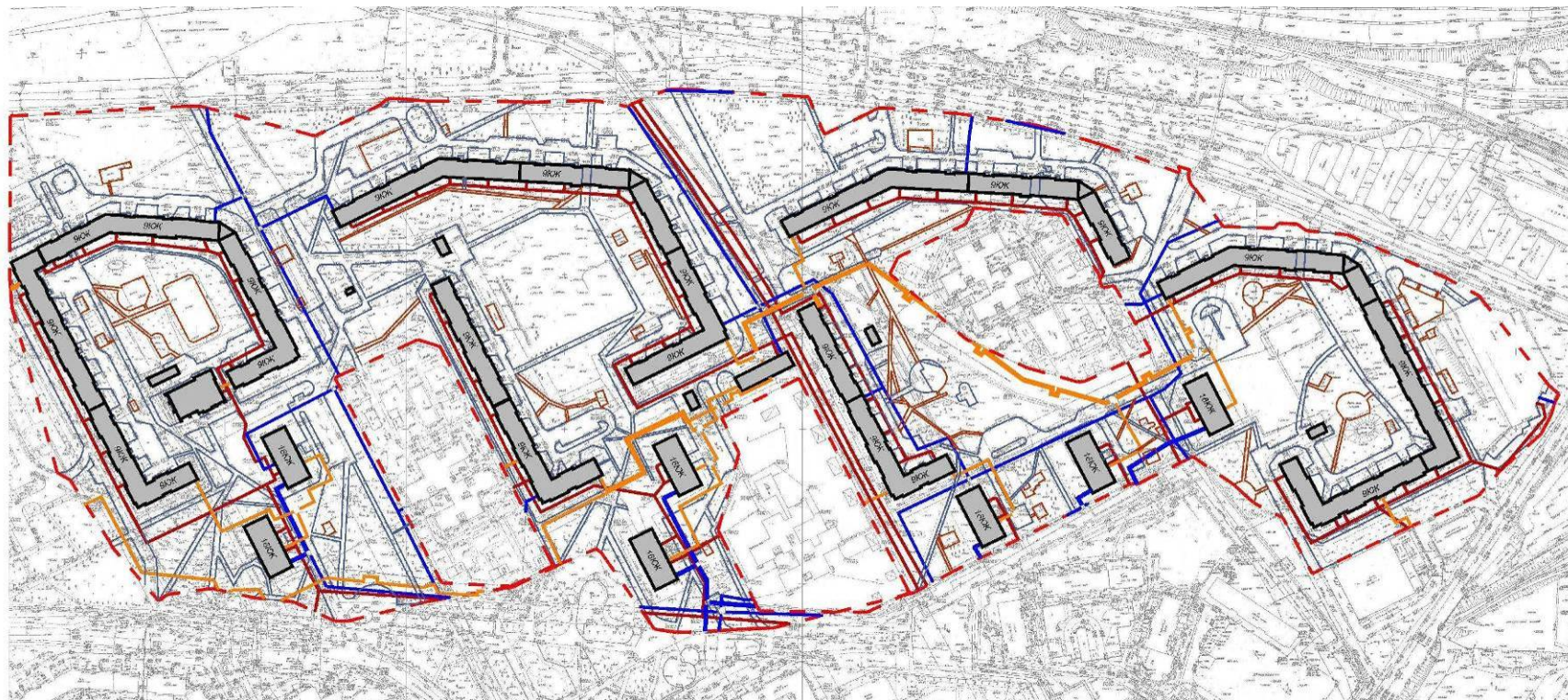
**Рисунок 11. Картографическое обследование застройки II типа
ул. Посадская – Ясная**



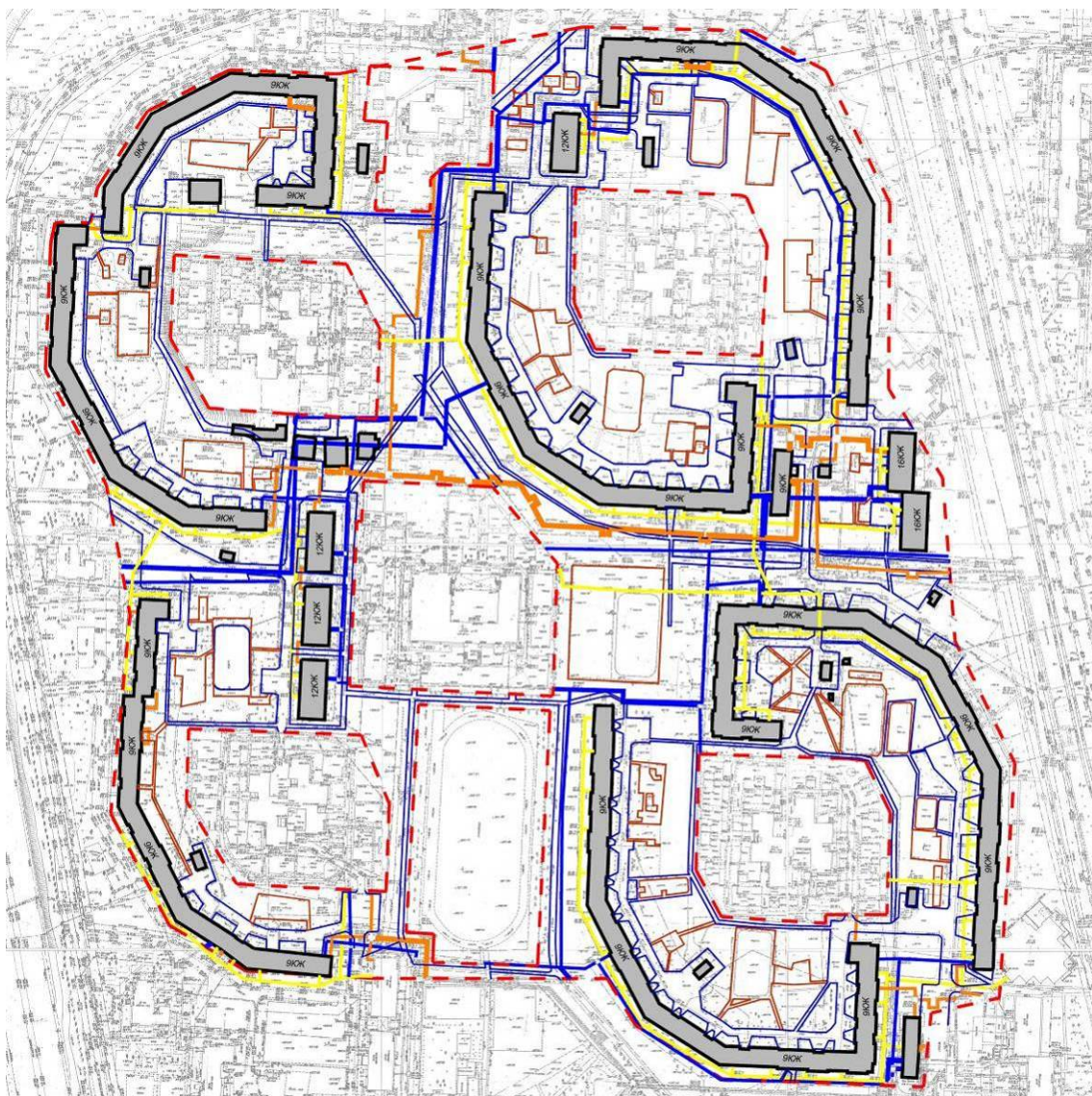
**Рисунок 12. Картографическое обследование застройки II типа
ул. Шарташская – Мичурина – Первомайская**



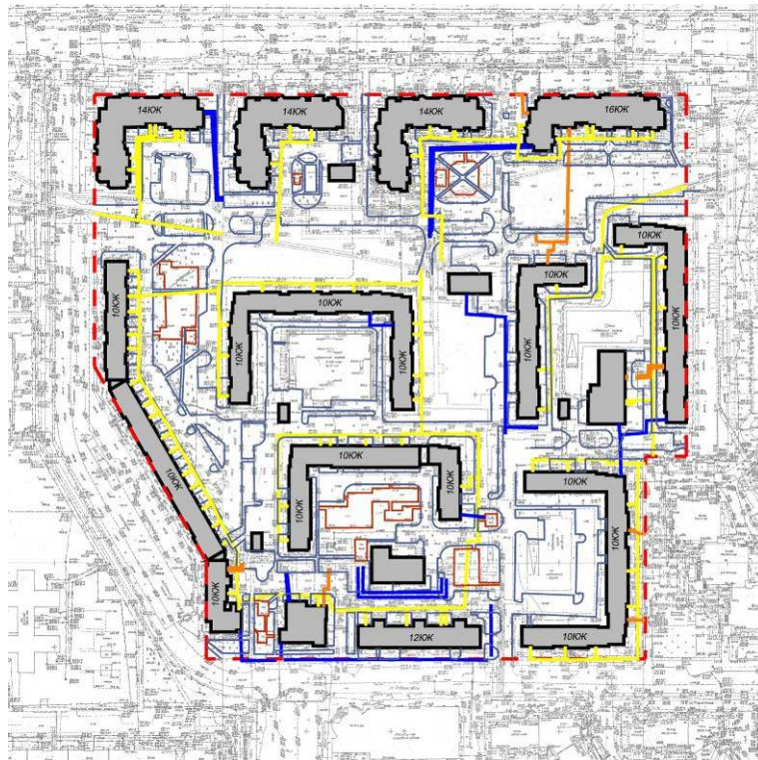
**Рисунок 13. Картографическое обследование застройки III типа
ул. Пехотинцев – Софьи Перовской – Бебеля**



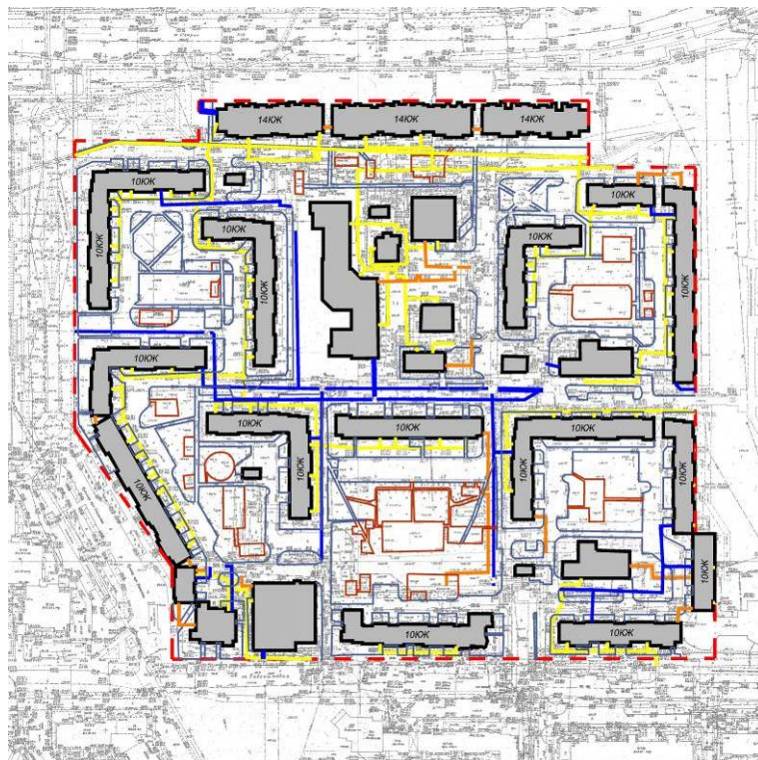
**Рисунок 14. Картографическое обследование застройки III типа
ул. Черепанова – Готвальда – Опалихинская – Халтурина**



**Рисунок 15. Картографическое обследование застройки III типа
ул. Высоцкого – Сыромолотова – Новгородцевой**



**Рисунок 16. Картографическое обследование застройки III типа
ул. Шварца – бульвар Малахова – Самоцветный бульвар**



**Рисунок 17. Картографическое обследование застройки III типа
ул. Родонитовая – Тбилисский бульвар – Шварца**

Таблица 1 – Баланс покрытий застроенных ландшафтов в зависимости от типа застройки, г. Екатеринбург

Тип застройки	Площадь исследуемой территории, м ²		Площадь, м ²			
			застройки	проездов и тротуаров	площадок	озеленения
I	1	97 315	25 059 (25,75 %)	-	8 369 (8,6 %)	63 887 (65,65 %)
	2	79 053	21 186 (26,8 %)	-	5 297 (6,7 %)	52 570 (66,5 %)
	3	96 565	20 762 (21,5 %)	-	8 787 (9,1 %)	67 016 (69,4 %)
	4	95 267	15 147 (15,9 %)	-	6 669 (7,0 %)	73 451 (77,1 %)
	5	71 469	12 508 (17,5 %)	-	4 716 (6,6 %)	54 245 (75,9 %)
	6	97 045	25 620 (26,4 %)	-	6 308 (6,5 %)	65 117 (67,1 %)
усредненное значение			23 %	-	8 %	69 %
II	1	65 371	17 979 (27,5 %)	14 556 (22,3 %)	3 996 (6,1 %)	28 840 (44,1 %)
	2	166 226	36 902 (22,2 %)	27 427 (16,5 %)	11 802 (7,1 %)	90 095 (54,2 %)
	3	136 759	43 626 (31,9 %)	20 104 (14,7 %)	9 163 (6,7 %)	63 866 (46,7 %)
	4	89 173	19 749 (22,1 %)	13 483 (15,1 %)	6 407 (7,2 %)	49 534 (55,6 %)
	5	97 536	19 528 (20,0 %)	13 390 (13,7 %)	8 182 (8,4 %)	56 436 (57,9 %)
	6	65 733	17 288 (26,3 %)	9 794 (14,9 %)	3 155 (4,8 %)	35 496 (54,0 %)
усредненное значение			26 %	17 %	7 %	50 %
III	1	165 657	33 463 (20,2 %)	64 606 (39,0 %)	27 830 (16,8 %)	39 758 (24,0 %)
	2	228 227	28 528 (12,5 %)	47 015 (20,6 %)	74 174 (32,5 %)	78 510 (34,4 %)
	3	226 005	30 511 (13,5 %)	57 857 (25,6 %)	38 421 (17,0 %)	99 216 (43,9 %)
	4	107 396	22 016 (20,5 %)	20 620 (19,2 %)	15 680 (14,6 %)	49 080 (45,7 %)
	5	113 362	21 312 (18,8 %)	23 352 (20,6 %)	20 972 (18,5 %)	47 726 (42,1 %)
усредненное значение			16 %	26 %	21 %	37 %
IV*	1	72 898	13 698 (18,8 %)	35 698 (49,0 %)	7 092 (9,7 %)	16 410 (22,5 %)
	2	118 070	30 786 (26,1 %)	49 202 (41,7 %)	11 736 (9,9 %)	26 346 (22,3 %)
	3	81 294	16 604 (20,4 %)	33 152 (40,8 %)	16 268 (20,0 %)	15 270 (18,8 %)
	4	92 182	25 073 (27,2 %)	26 512 (28,8 %)	8 752 (9,5 %)	31 845 (34,5 %)
	5	87 570	21 893 (25,0 %)	32 727 (37,4 %)	6 673 (7,6 %)	26 277 (30,0 %)
усредненное значение			24 %	39 %	11 %	26 %

Примечание: * – значения приняты по проектной документации.

Таблица 2 – Данные по замерам бессточных мульд в зависимости от типа застройки

Тип застройки	Площадь исследуемой территории, м ²	Площадь заасфальтированных покрытий, м ²	Площадь техногенных мульд на заасфальтированных покрытиях, м ²		Дата замера	Доля бессточных мульд от общей площади заасфальтированных покрытий	Средняя глубина бессточных мульд, мм слоя воды
II	65 371	14 556	1	247	10.06.2012	0,0170	39
			2	263	18.07.2012	0,0181	33
			3	279	24.07.2012	0,0192	42
			4	147	12.08.2012	0,0101	24
			5	352	25.08.2012	0,0242	60
			6	124	02.07.2013	0,0085	13
			7	322	14.07.2013	0,0221	49
			8	169	03.08.2013	0,0116	27
			9	227	16.08.2013	0,0156	36
			10	255	23.09.2013	0,0175	34
	166 226	27 427	1	436	10.06.2012	0,0159	65
			2	453	18.07.2012	0,0165	60
			3	431	24.07.2012	0,0157	59
			4	291	12.08.2012	0,0106	35
			5	549	25.08.2012	0,0200	74
			6	255	02.07.2013	0,0093	38
			7	474	14.07.2013	0,0173	62
			8	359	03.08.2013	0,0131	39
			9	409	16.08.2013	0,0149	42
			10	461	23.09.2013	0,0168	65
	136 759	20 104	1	275	10.06.2012	0,0137	30
			2	318	18.07.2012	0,0158	37
			3	298	24.07.2012	0,0148	35
			4	261	12.08.2012	0,0130	30
			5	358	25.08.2012	0,0178	52
			6	231	02.07.2013	0,0115	24
			7	338	14.07.2013	0,0168	41
			8	259	03.08.2013	0,0129	28

			9	265	16.08.2013	0,0132	28
			10	283	23.09.2013	0,0141	31
	89 173	13 483	1	389	10.06.2012	0,0289	31
			2	420	18.07.2012	0,0312	32
			3	414	24.07.2012	0,0307	39
			4	336	12.08.2012	0,0249	16
			5	486	25.08.2012	0,0361	55
			6	383	02.07.2013	0,0284	22
			7	433	14.07.2013	0,0321	25
			8	363	03.08.2013	0,0269	24
			9	418	16.08.2013	0,0310	32
			10	402	23.09.2013	0,0298	34
	97 536	13 390	1	381	10.06.2012	0,0285	27
			2	398	18.07.2012	0,0297	33
			3	423	24.07.2012	0,0316	35
			4	349	12.08.2012	0,0261	18
			5	478	25.08.2012	0,0357	48
			6	384	02.07.2013	0,0287	23
			7	427	14.07.2013	0,0319	31
			8	366	03.08.2013	0,0273	21
			9	395	16.08.2013	0,0295	38
			10	403	23.09.2013	0,0301	29
	65 733	9 794	1	135	10.06.2012	0,0138	36
			2	165	18.07.2012	0,0168	28
			3	132	24.07.2012	0,0135	43
			4	122	12.08.2012	0,0125	25
			5	186	25.08.2012	0,0190	60
			6	96	02.07.2013	0,0098	25
			7	165	14.07.2013	0,0168	33
			8	128	03.08.2013	0,0131	20
			9	134	16.08.2013	0,0137	37
			10	149	23.09.2013	0,0152	47

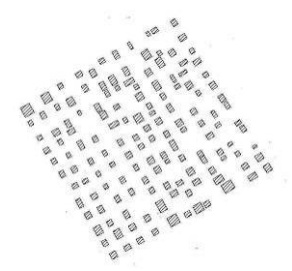
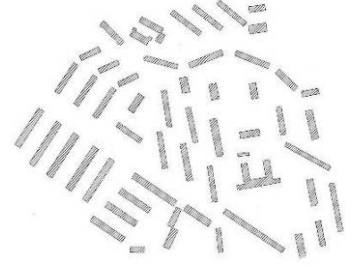
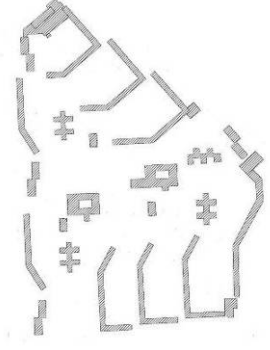
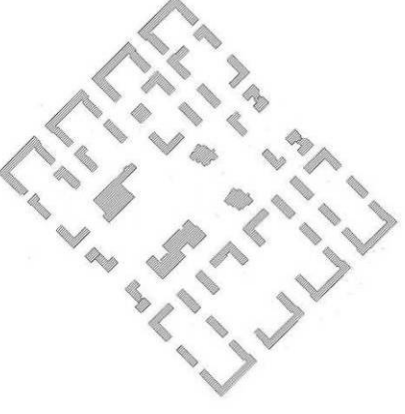
III	165 657	64 606	1	1951	10.06.2012	0,0302	18
			2	1383	18.07.2012	0,0214	21
			3	1912	24.07.2012	0,0296	25
			4	1822	12.08.2012	0,0282	10
			5	2132	25.08.2012	0,0330	32
			6	1854	02.07.2013	0,0287	12
			7	1764	14.07.2013	0,0273	18
			8	195	03.08.2013	0,0301	11
			9	2061	16.08.2013	0,0319	16
			10	1906	18.08.2013	0,0295	22
	228 227	47 015	1	644	10.06.2012	0,0137	22
			2	606	18.07.2012	0,0129	25
			3	621	24.07.2012	0,0132	26
			4	489	12.08.2012	0,0104	24
			5	677	25.08.2012	0,0144	46
			6	418	02.07.2013	0,0089	16
			7	625	14.07.2013	0,0133	34
			8	437	03.08.2013	0,0093	20
			9	475	16.08.2013	0,0101	18
			10	597	18.08.2013	0,0127	22
	226 005	57 857	1	688	10.06.2012	0,0119	20
			2	804	18.07.2012	0,0139	25
			3	717	24.07.2012	0,0124	23
			4	405	12.08.2012	0,0070	20
			5	984	25.08.2012	0,0170	41
			6	283	02.07.2013	0,0049	14
			7	862	14.07.2013	0,0149	26
			8	364	03.08.2013	0,0063	18
			9	625	16.08.2013	0,0108	22
			10	729	18.08.2013	0,0126	21



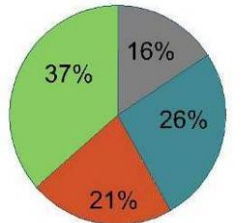
	107 396	20 620	1	190	10.06.2012	0,0092	17
			2	252	18.07.2012	0,0122	20
			3	214	24.07.2012	0,0104	15
			4	146	12.08.2012	0,0071	14
			5	346	25.08.2012	0,0168	35
			6	95	02.07.2013	0,0046	12
			7	272	14.07.2013	0,0132	25
			8	99	03.08.2013	0,0048	21
			9	186	16.08.2013	0,0090	22
			10	231	18.08.2013	0,0112	23
	113 362	23 352	1	411	10.06.2012	0,0176	33
			2	439	18.07.2012	0,0188	58
			3	479	24.07.2012	0,0205	52
			4	259	12.08.2012	0,0111	29
			5	581	25.08.2012	0,0249	68
			6	220	02.07.2013	0,0094	27
			7	542	14.07.2013	0,0232	55
			8	290	03.08.2013	0,0124	37
			9	371	16.08.2013	0,0159	40
			10	434	18.08.2013	0,0186	59

Таблица 3 – Значения утечек в зависимости от удельной протяженности водонесущих коммуникаций и от типа застройки

Тип застройки	Площадь исследуемой территории, м ²		Абсолютная (м) / Удельная (п.м на м ²) протяженность сетей			Количество утечек (м ³ /сут на 1 м ²) из сетей			Суммарное количество утечек, м ³ /сут на 1 м ²
			канализации	водоснабжения	теплоснабжения	канализации	водоснабжения	теплоснабжения	
II	1	65 371	1811 / 0,0277	1687 / 0,0258	693 / 0,0106	$0,831 \times 10^{-3}$	$1,014 \times 10^{-3}$	$0,161 \times 10^{-3}$	$2,006 \times 10^{-3}$
	2	166 226	3740 / 0,0225	3408 / 0,0205	1031 / 0,0062	$0,675 \times 10^{-3}$	$0,805 \times 10^{-3}$	$0,094 \times 10^{-3}$	$1,574 \times 10^{-3}$
	3	136 759	3816 / 0,0279	1108 / 0,0081	3310 / 0,0242	$0,837 \times 10^{-3}$	$0,318 \times 10^{-3}$	$0,368 \times 10^{-3}$	$1,523 \times 10^{-3}$
	4	89 173	2158 / 0,0242	1199 / 0,0134	1275 / 0,0143	$0,726 \times 10^{-3}$	$0,526 \times 10^{-3}$	$0,217 \times 10^{-3}$	$1,469 \times 10^{-3}$
	5	97 536	2877 / 0,0295	1200 / 0,0123	1287 / 0,0132	$0,885 \times 10^{-3}$	$0,483 \times 10^{-3}$	$0,201 \times 10^{-3}$	$1,569 \times 10^{-3}$
	6	65 733	1755 / 0,0267	1446 / 0,0220	809 / 0,0123	$0,801 \times 10^{-3}$	$0,865 \times 10^{-3}$	$0,187 \times 10^{-3}$	$1,853 \times 10^{-3}$
Усреднённое значение			0,0264	0,0168	0,0134	$0,792 \times 10^{-3}$	$0,660 \times 10^{-3}$	$0,204 \times 10^{-3}$	$1,656 \times 10^{-3}$
III	1	165 657	3313 / 0,0200	1110 / 0,0067	381 / 0,0023	$0,600 \times 10^{-3}$	$0,263 \times 10^{-3}$	$0,035 \times 10^{-3}$	$0,898 \times 10^{-3}$
	2	228 227	3926 / 0,0172	2647 / 0,0116	1826 / 0,0080	$0,516 \times 10^{-3}$	$0,456 \times 10^{-3}$	$0,122 \times 10^{-3}$	$1,094 \times 10^{-3}$
	3	226 005	3390 / 0,0150	2870 / 0,0127	1514 / 0,0067	$0,450 \times 10^{-3}$	$0,499 \times 10^{-3}$	$0,102 \times 10^{-3}$	$1,051 \times 10^{-3}$
	4	107 396	2481 / 0,0231	902 / 0,0084	1181 / 0,0110	$0,693 \times 10^{-3}$	$0,330 \times 10^{-3}$	$0,167 \times 10^{-3}$	$1,190 \times 10^{-3}$
	5	113 362	2120 / 0,0187	1020 / 0,0090	1122 / 0,0099	$0,561 \times 10^{-3}$	$0,354 \times 10^{-3}$	$0,150 \times 10^{-3}$	$1,065 \times 10^{-3}$
Усреднённое значение			0,0180	0,0101	0,0069	$0,540 \times 10^{-3}$	$0,397 \times 10^{-3}$	$0,105 \times 10^{-3}$	$1,042 \times 10^{-3}$

Приложение Г – Техногенные составляющие водного баланса ландшафта в зависимости от исторически сложившихся морфотипов застройки г. Екатеринбурга

Тип застройки	I	II	III	IV
Общая характеристика	Индивидуальная и малоэтажная застройка	Массовое индустриальное домостроение «первого поколения» (хрущёвского периода)	Массовая многоэтажная жилая застройка «второго и третьего поколения»	Современная многоэтажная жилая застройка
Этажность	1–3	5	9–16	9–16–25
Годы постройки	разные периоды XX в.	1960 – 1970-е гг.	1980-е – начало 1990-х гг.	конец 1990-х – 2000-е гг.
Материал	деревянные, кирпичные дома	крупноблочные, кирпичные жилые дома, панельные дома первого поколения	панельные индустриальные дома второго и третьего поколения	кирпичные, монолитно-каркасные дома
Планировочные характеристики	частные жилые дома с приусадебными участками	строчный приём застройки кварталов, в конце периода наблюдается переход к групповому приёму застройки	в основном групповой приём планирования микрорайонов	точечная застройка, при строительстве на неосвоенных территориях периметральный и групповой приём застройки
Характерная планировочная структура				
Доля данного типа застройки в общей площади массовой жилой застройки г.Екатеринбурга	-	47,6* %	33,3* %	19,1* %

Характерные примеры зданий				
Соотношение покрытий * <div> <div></div> - крыши <div></div> - газон <div></div> - асфальт <div></div> - грунтовое покрытие </div>				
Коэффициент «бессточных участков» / средняя глубина мульд	-	0,015–0,028* / 29–53* мм	0,011–0,022* / 18–45* мм	-
Коэффициент стока / справочный коэффициент стока	0,29* / 0,10–0,40	0,45* / 0,25–0,50	0,47* / 0,26–0,50	0,64* / 0,30–0,50
Усредненные значения плотности водонесущей сети (канализация / водоснабжение / теплоснабжение)	-	264* / 168* / 134*	180* / 101* / 69*	-
Суммарное количество утечек в зависимости от усредненной протяженности водонесущих сетей	-	$1,619* \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{сут на } 1 \text{ м}^2$	$1,042* \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{сут на } 1 \text{ м}^2$	-

Примечание: значком «*» помечены данные, полученные в результате настоящего исследования.